

ARCHÄOLOGISCHE BERICHTE
AUS DEM YEMEN

BAND VII

LIBRARY
THE
UNIVERSITY MUSEUM



UNIVERSITY
OF
PENNSYLVANIA

ARCHÄOLOGISCHE BERICHTE AUS DEM YEMEN
BAND VII



DEUTSCHES ARCHÄOLOGISCHES INSTITUT SANA

ARCHÄOLOGISCHE BERICHTE
AUS DEM YEMEN

BAND VII

1995



VERLAG PHILIPP VON ZABERN · MAINZ AM RHEIN

DEUTSCHES ARCHÄOLOGISCHES INSTITUT ŞANĀʾ

ANTIKE TECHNOLOGIE – DIE
SABÄISCHE WASSERWIRTSCHAFT
VON MĀRIB

HERAUSGEGEBEN VON
JÜRGEN SCHMIDT

TEIL 3:
UNTERSUCHUNGEN DER SABÄISCHEN
BEWÄSSERUNGSANLAGEN IN MĀRIB

VON
MICHAEL SCHALOSKE

1995

VERLAG PHILIPP VON ZABERN · MAINZ AM RHEIN

IX, 177 Seiten mit 66 Abbildungen, 19 Tafeln mit 58 Abbildungen und 1 Beilage

Museum

DS

247

Y43

A72

Bd. 7

1995

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Archäologische Berichte aus dem Yemen / Deutsches Archäologisches

Institut Šanʿāʾ. – Mainz am Rhein : von Zabern.

Erscheint unregelmäßig. – Aufnahme nach Bd. 6 (1993)

ISSN 0722-9844

Bd. 7. Antike Technologie.

Teil 3. Untersuchungen der sabäischen Bewässerungsanlagen in Mārib. – 1995

Antike Technologie : die sabische Wasserwirtschaft von Mārib /

Deutsches Archäologisches Institut Šanʿāʾ.

Hrsg. von Jürgen Schmidt. – Mainz am Rhein : von Zabern.

(Archäologische Berichte aus dem Yemen ; ...)

Teil 3. Untersuchungen der sabäischen Bewässerungsanlagen in Mārib /

von Michael Schaloske. – 1995

(Archäologische Berichte aus dem Yemen ; Bd. 7)

ISBN 3-8053-1488-4

NE: Schaloske, Michael

© 1995 by Philipp von Zabern, Mainz am Rhein

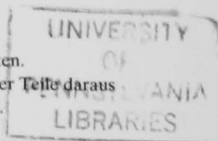
ISBN 3-8053-1488-4

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

Printed in Germany by Philipp von Zabern

Printed on fade resistant and archival quality paper (PH 7 neutral)



Inhalt

ANMERKUNG DES HERAUSGEBERS	VIII
VORWORT	IX
1. EINFÜHRUNG	1
1.1 Kurzer Abriß der Geschichte	2
1.2 Stand der Forschung	5
1.3 Konzeption der Untersuchung	6
1.4 Untersuchungsbereich	7
2. ALLGEMEINE VORAUSSETZUNGEN	10
2.1 Natürliche Rahmenbedingungen	10
2.1.1 Geologie und Geomorphologie	10
2.1.2 Klimabedingungen	11
2.1.3 Aspekte zu Besiedlung und Morphologie des Einzugsgebietes	13
2.1.4 Hydrologie	14
2.2 Überblick der Ableitungs- und Verteilungseinrichtungen	19
2.2.1 Prinzipielle Entwicklungsschritte der Anlagenkonzeption	20
2.2.2 Betriebsperioden der Bewässerungskultur	23
2.3 Bautechnik im Wandel der Kultur	24
3. FUNKTIONSSYSTEM IM WĀDĪ DANA – DAMM MIT NORD- UND SÜDBAU	32
3.1 Nordbau N1	33
3.1.1 Schwergewichtsabschlußmauer	36
3.1.2 Auslaßbauwerk/Bewässerungsauslässe	39
3.1.3 Verbindungs- und Anschlußbauwerk	43
3.1.4 Tosbecken	44
3.1.5 Hauptzuleitungskanal	45
3.2 Südbau S1/2	46
3.2.1 Dammbalkenwehr	46
3.2.2 Anschlußbauwerk	53

3.2.3	Teilungsbauwerk mit nördlichem und südlichem Auslaßbereich	54
3.2.4	Hydraulische Bedingungen an den Auslaßbereichen	60
3.2.5	Funktions- und Bauphasen der Anlage S1/2	64
3.3	Absperrdamm	65
3.3.1	Trasse	65
3.3.2	Querschnitt und konstruktive Gestaltung	68
3.3.3	Stauraum	69
3.4	Gesamtsystem N1–S1 der Periode I	73
3.5	Hydraulisch-funktioneller Überblick und Versagenswahrscheinlichkeit	74
4.	FUNKTIONSELEMENTE IM WĀDĪ DANA AUS ÄLTEREN BETRIEBS- PERIODEN	79
4.1	Bauanlagen N2 und N3	79
4.2	Bauanlage N4 („Bau A“)	81
4.3	Bauanlage N5 („Bau C“)	90
4.4	Bauanlage S3	92
4.5	Bauanlage S4	93
4.6	Bauanlage S6/5 („Bau B“)	96
4.6.1	Bauanlage S6	97
4.6.2	Bauanlage S5	100
5.	BAUANLAGE „AL-MABNĀ“ IM WĀDĪ ĠUFAINA	105
5.1	Erhaltene Überreste von „al-Mabnā“	105
5.1.1	Becken I mit Auslaß (A1)	106
5.1.2	Becken II mit den Auslässen (A2) und (A3)	106
5.1.3	Becken III mit Auslaß (A4)	108
5.2	Hydraulisch-funktioneller Überblick über die Anlage „al-Mabnā“	109
5.2.1	Rekonstruktionsmöglichkeiten	109
5.2.2	Analyse des Wasserdargebots und der Versagenswahrscheinlichkeit	112
5.3	Datierung der Anlage	116
5.4	Veränderungen an der Anlage „al-Mabnā“	118
6.	BEWÄSSERUNGSNETZE AUF DEN OASEN	120
6.1	Feldbau auf den antiken Oasen	121
6.2	Hauptverteilerbauwerk Nordoase	123
6.3	Elemente der Bewässerungsnetze	130
6.3.1	Linienhafte Elemente	130
6.3.2	Punktelemente (Durchlaßbauwerke)	133
6.3.2.1	Bauweise „Schalenmauer mit Hinterfüllung“	133
6.3.2.2	Bauweise „Schüttmauer mit Verputz“	135
6.3.3	Zweckbestimmung	136
6.4	Funktionale Zusammenhänge	139
6.4.1	Auslässe im Kanalverlauf	140
6.4.2	Bauwerksgruppen	140
6.4.3	Feldüberleitungen	142

6.5	Rekonstruktion des Bewässerungsnetzes auf dem Westteil der Nordoase	144
6.5.1	Beschreibung der Kanäle	144
6.5.2	Netzdichte und Flächenbedarf	150
6.5.3	Gelegenheiten der Steuerung in den Kanälen	150
6.5.4	Möglichkeiten von Berechnungen im Kanalnetz	153
6.6	Bewässerungsnetz „Gufaina“	155
6.7	Bewässerungsnetz „Südoase“	160
7.	ÜBERLEGUNGEN ZUR DATIERUNG DER SABÄISCHEN BEWÄSSERUNGS- KULTUR	162
8.	ZUSAMMENFASSUNG	165
	LITERATURVERZEICHNIS	171
	VERZEICHNIS DER TAFELN	175
	ABBILDUNGSNACHWEIS	177

TAFELN 1–19

BEILAGE

Anmerkung des Herausgebers

Nach der antiken Landwirtschaft, der Geomorphologie und der Sedimentologie wird mit der Arbeit von M. Schaloske über die antiken Bewässerungsanlagen von Märib der dritte Teil der Forschungsergebnisse zur Wasserwirtschaft der Sabäerhauptstadt vorgelegt. Im Vordergrund stehen die technische Definition und funktionelle Deutung der Bewässerungssysteme, wobei noch einmal auf die Grunderkenntnisse der Hydraulik eingegangen wird; auch werden Ergebnisse anderer Forschungsbereiche mit einbezogen.

Das Vorgehen der naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen stand beim Projekt „Die Wasserwirtschaft der Sabäerhauptstadt Märib“ vornehmlich im Zeichen des theoretischen Zugriffes auf die Problemstellung. Die zahlreichen vor Ort gesammelten Daten, Analysen und Erkenntnisse wurden in Konkordanz mit den hydraulischen Gesetzmäßigkeiten gestellt, man hat sie nach Möglichkeit zu identitätsnaher Deckung gebracht. Die Einteilung des Systems in Betriebsperioden basiert auf konkreten, z. T. auch gegenwärtig noch faßbaren materiellen Symptomen, wird aber um so theoretischer, je höher man in die ältesten Systemschichten vordringt. Es liegt in der Natur des Forschungsgegenstandes, daß eine Anpassung an die allgemeinen Grundprinzipien des Wasserbaus erst den gewünschten Aufschluß bringt. Der tatsächliche historische Ablauf bewegt sich damit nicht immer synchron. Besonders augenfällig ist dies bei der exakt nachvollziehbaren Baugeschichte der Südanlage, die nicht simultan mit den Betriebsphasenabläufen zu sehen ist. Die endgültige Übereinstimmung der hydraulischen Ergebnisse mit dem archäologischen Befund herzustellen, wird die Aufgabe des Bauforschers in einer der nächsten Arbeiten sein.

J. S.

Vorwort

Die vorliegende Abhandlung basiert hauptsächlich auf Ergebnissen des Forschungsvorhabens „Antike – Die Wasserkulturen der Sabäerhauptstadt Mārib“, welches von dem Deutschen Archäologischen Institut Ṣan‘ā’ und dem Lehrstuhl für landwirtschaftlichen Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Bonn bearbeitet wurde.

Die Untersuchungen vor Ort erfolgten im wesentlichen während der Feldaufenthalte im Rahmen des Forschungsvorhabens von November 1983 bis Februar 1984 und von November 1984 bis Februar 1985. Die Arbeit wurde 1991 als Dissertation von der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn angenommen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Radermacher als Betreuer der Arbeit und Leiter der Bonner Arbeitsgruppe und Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt als Leiter des Gesamtprojektes „Antike Technologie“. Weiterhin danke ich herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Borchard, der das Korreferat der Arbeit übernommen hat.

Ferner danke ich meinen ehemaligen Kollegen im Forschungsprojekt, Ingrid Hehmeyer und Winfried Wagner, sowie besonders Robert Godding, Michael Hohnvehlmann, Hans-Gerd Maas und Ingbert Ridder, die wichtige Grundlagen im Felde erhoben haben.

Ich danke nicht zuletzt Werner Herberg für zahlreiche wertvolle Hinweise. Ebenso danke ich Dr. Burkhard Vogt für wichtige Anregungen.

Mein Dank gilt dem Deutschen Archäologischen Institut für die Drucklegung der Arbeit und der Stiftung Volkswagenwerk für die großzügige finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens.

Ferner danke ich ganz besonders Alexandra Kelemen M.A., die durch ihre stete Unterstützung in allen Phasen wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

1. Einführung

Die Stadt Märib als Zentrum des Königreiches Saba¹ im alten Südarabien war wegen ihrer Lage am Rande der innerarabischen Wüste in ihrer Existenz von einem außergewöhnlich bemerkenswerten Bewässerungssystem abhängig. Bereits früh besaß Märib zentrale Funktionen in dem fruchtbarsten Teil der Arabischen Halbinsel, welcher in der Antike als »arabia felix« bekannt war.

Aufgrund ihrer Flächenausdehnung und technischen Perfektion ist es gerechtfertigt, die Bewässerungsanlagen in einem Atemzug mit den bekannten Weltwundern der Antike zu nennen. Die Bauwerke stellen in ihrer konzeptionellen Gesamtheit einen herausragenden Höhepunkt der antiken Technologie dar, dessen Niveau wohl über Jahrhunderte nicht mehr erreicht wurde. Zu nennen sind die beeindruckenden Reste des Absperrdammes aus der jüngsten Betriebsperiode mit den zugehörigen Ableitungsbauwerken, einige ältere Stau- und Ableitungsanlagen sowie zahlreiche Funktionselemente der Bewässerungsnetze auf den antiken Oasen.

Angesichts der Vielzahl und der Dimensionen der Überreste ist es verständlich, daß bis heute nur wenige Erkenntnisse über die technischen und organisatorischen Leistungen vorliegen. Allerdings sind in der Erforschung von Märib seit Ende der siebziger Jahre aufgrund regelmäßiger Feldarbeiten erhebliche Fortschritte zu verzeichnen.

Aufgrund der starken Abhängigkeit von der Bewässerungstechnik kann die Erforschung der sabäischen Kultur auf eine eingehende Klärung der mit der Bewässerung zusammenhängenden Fragen keinesfalls verzichten. Daher lag es nahe, bei aktuellen Untersuchungen, besonders auch bei den Feldarbeiten, den Schwerpunkt auf eine Analyse der technischen, sedimentologischen und landwirtschaftlichen Zusammenhänge zu legen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden die Arbeiten in den Jahren 1982–1986 von der Stiftung Volkswagenwerk gefördert. Dieses Vorhaben war geprägt durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller beteiligten Fachrichtungen aus Natur- und Geisteswissenschaften, dabei sind v.a. Bauhistorie, Sedimentologie, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft zu nennen.

Die vorliegende Arbeit behandelt den Bereich der technischen Bewässerungseinrichtungen und entstand im wesentlichen auf der Grundlage mehrerer Feldaufenthalte.

Aus der Antike sind viele Kulturen bekannt, die aufgrund der herrschenden Klimabedingungen von einer Bewässerungslandwirtschaft abhängig waren. Zu nennen sind vor allem die Hochkulturen in Ägypten, im Zweistromland und am Indus (Mohenjo-Daro). Diese Kulturen konnten allerdings zur Wasserbewirtschaftung auf ständig fließende Gewässer zurückgreifen, wobei zur Nutzung der temporär auftretenden Hochwasserabflüsse ein umfangreiches Wissen erforderlich war. Die Notwendigkeit von langfristigen wasserwirtschaftlichen Planungen war allerdings noch größer, wenn, wie in Märib, Gewässer mit nur zeitweisen Abflüssen genutzt werden konnten. Die historischen Kulturen am Hil-mend (Sistan) und in Kasachstan können dafür als Beispiel gelten. In Südarabien sind zahlreiche

antike Staudämme und Bewässerungsanlagen nachgewiesen, wo die Standortbedingungen denen in Märib direkt vergleichbar sind. Aufgrund des baulichen Umfangs und der flächenmäßigen Ausdehnung ragen allerdings die Überreste der Bewässerungskultur in Märib aus dieser Gruppe deutlich hervor, da hier der mit der Entwicklung zunehmende Wasserbedarf sowie das durch Sedimentationsvorgänge bedingte Höhenwachstum der Oasen mehrere aufeinander folgende Bauwerke mit eindrucksvollen Dimensionen bedingte.

Zwischen Staat und Wasserwirtschaft bestanden äußerst enge Beziehungen. Nur ein leistungsfähiges Gemeinwesen konnte Arbeiten wie Dammbau, Anlage von Bewässerungssystemen o.ä. erfolgreich abschließen. Vor allem dringende Reparaturen, wie sie z. B. nach einem durch Hochwasser ausgelösten Dambruch notwendig waren, stellten immer wieder Bewährungsproben für die Gemeinschaft dar. Im Gegensatz zu Ägypten, wo bereits lange vor Einführung der künstlichen Feldbewässerung eine zentrale Bürokratie existierte¹, kann für die Bewässerungskultur von Märib sicher von der „hydraulischen Hypothese“² ausgegangen werden, nach welcher zentrale Herrschaftsformen und Bürokratie dann und nur dann entstehen, wenn umfangreiche künstliche Bewässerung eingeführt wird. Gerade in Märib war die künstliche Bewässerung für die Agrarproduktion und den Aufbau der Gemeinschaft unabdingbar. Für den Betrieb der großen Stau- und Ableitungsanlagen sowie der Hauptkanäle war zweifellos eine zentrale Kontrolle erforderlich, so daß davon ausgegangen werden kann, daß politische und soziale Macht in einer starken Regierung zusammengefaßt waren. Ein Vergleich mit den Verhältnissen im alten Ägypten ist nur eingeschränkt möglich, da dort keine zentrale Bewässerungsverwaltung vorhanden war³. Für die Blütezeiten kann für Märib von einer Überschußproduktion im Nahrungsmittelbereich ausgegangen werden. Kennzeichnend sind dann Arbeitsteilung, Bürokratie und differenzierte Herrschaftsformen. Die Verteilung der Erträge bzw. die Verwaltung der Vorräte und anderer Güter erforderten höhere Instanzen.

Es ist anzunehmen, daß die Zeiten niedriger Abflüsse im Wadi, die zu Mängeln in der Versorgung der Bevölkerung und bei der Ausrüstung der Karawanen führen konnten, sicherlich mehr gefürchtet waren als Hochwasserereignisse, obwohl diese oft umfangreiche Beschädigungen verursachten. Dies wird auch dadurch belegt, daß von den sabäischen Göttern der Gott der Bewässerung, *ʿAttar dū-Dibān*, eine besondere Rolle spielte⁴. Mit einer großen Akzeptanz von Hochwasserereignissen als negative Ausprägung der erwünschten Abflüsse könnte auch begründet werden, daß erst relativ spät und relativ selten in den sabäischen Inschriften über Beschädigungen an den technischen Anlagen berichtet wird.

1.1 KURZER ABRISS DER GESCHICHTE⁵

Aufgrund zahlreicher Forschungsergebnisse kann es als sicher gelten, daß der südarabische Raum und besonders auch das Hinterland von Märib seit vielen Jahrtausenden ohne Unterbrechung besiedelt sind. Davon zeugen Felszeichnungen von Jägern und Sammlern, Siedlungsplätze aus der Jungstein-

1 vgl. W. Schenkel, Die Bewässerungsrevolution im Alten Ägypten (1978) 69.

2 vgl. K.A. Wittfogel, in W.L. Thomas Jr. (Hrsg.), *Man's Role in Changing the Face of the Earth* (1956), 152 ff. Ausführlich: K.A. Wittfogel, *Die orientalische Despotie* (1962)

3 vgl. E. Endesfelder in: ZÄS 106, 1976, 48.

4 Die Verhältnisse sind denen in Ägypten vergleichbar, wo der Nil als Spender der Feuchtigkeit besonders gewürdigt wurde. Vgl. ebd. 38 f.

5 Einen guten Überblick über das historische Südarabien gibt: W. W. Müller in W. Daum (Hrsg.), *Jemen* (1987) 50–56.

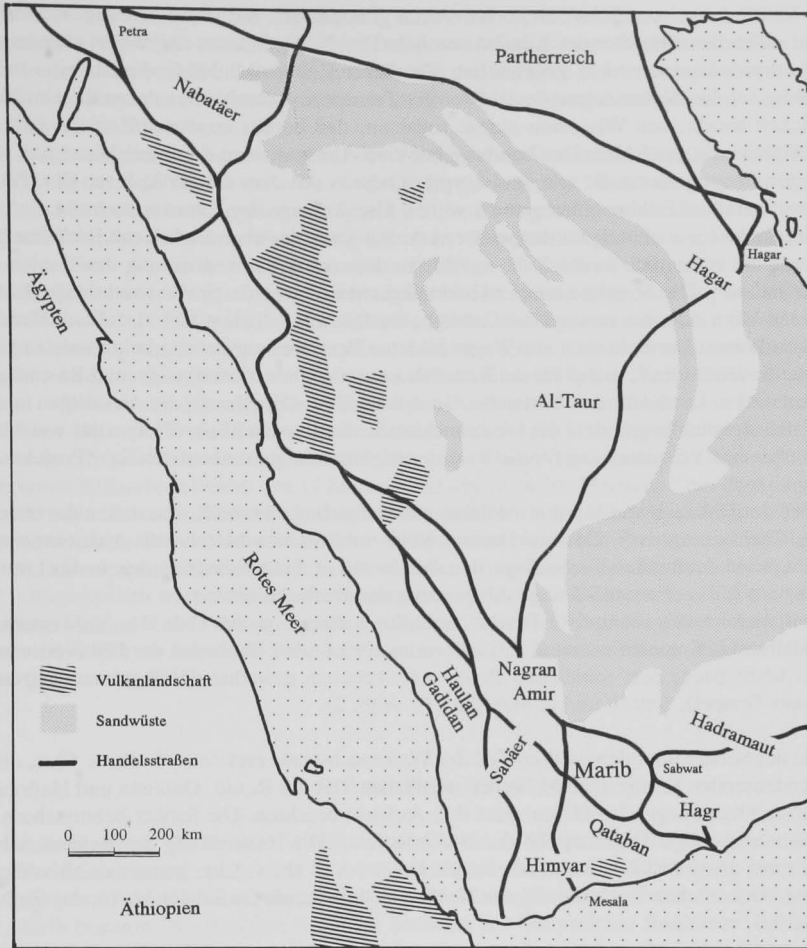


Abb. 1. Märib im Netz antiker Handelsstraßen.

zeit⁶ und zahlreiche Funde aus der Bronzezeit⁷, durch welche die große Bedeutung der Landwirtschaft für das 2. Jahrtausend v. Chr. bestätigt wird. Die ältesten bekannten Bewässerungsbauwerke im Wädi Dana bei Märib stammen wahrscheinlich bereits aus dem 3. Jt. v. Chr., wie durch die Kombination von ingenieurwissenschaftlichen und sedimentologischen Untersuchungen nachgewiesen werden konnte.

6 vgl. F.G. Fedele in W. Daum (Hrsg.), Jemen (1987) 37f.

7 vgl. A. de Maigret, Die Bronzezeit des Jemen, in: W. Daum (Hrsg.): Jemen, Innsbruck-Frankfurt 1987, 49f;

ders., Die Sabäer vor der Königin von Saba, in: W. Daum (Hrsg.): Die Königin von Saba, Stuttgart – Zürich 1988, 36ff..

Eine frühe Erwähnung von Saba⁷ stellt im Alten Testament⁸ die Beschreibung des in das 10. Jh. v. Chr. fallenden Besuches der Königin von Saba⁷ bei König Salomo dar, wobei allerdings die historische Authentizität sicher nicht gegeben ist. Zu dieser Zeit besaß Mārib bereits eine beherrschende Stellung auf der Weihrauchstraße, auf der der Transport südarabischer Aromata zum Mittelmeer abgewickelt wurde. von Wissmann nimmt sogar an, daß bereits zu dieser Zeit die sabäische Macht ihren Höhepunkt erreichte⁹. Der Landweg bot eine Alternative zu dem unsicheren und witterungsabhängigen Seeweg, der z. B. von den Ägyptern bereits seit dem frühen 3. Jt. v. Chr. für den Handel mit Aromata und Edelmetallen genutzt wurde. Die Anfänge der Karawanenstraße sind noch weitgehend im unklaren, doch mag für den weiteren Aufschwung der ursprünglich mit Eselkarawanen bereisten Route die vermutlich in das 2. Jt. v. Chr. zu datierende Domestizierung des Kamels eine Rolle gespielt haben¹⁰. Die Strecke verlief zweckmäßigerweise nicht durch die feuchtheiße Küstenebene am Roten Meer oder das unwegsame Gebirge, sondern am östlichen Gebirgsfuß am Rand der innerarabischen Wüste. Die Stationen des Weges bildeten Bewässerungsoasen, die an nahezu jedem Wadiaustritt zu finden waren¹¹, so daß für die Reisenden ausreichende Versorgungs- und Rastmöglichkeiten gegeben waren. Die Kulturen bildeten die Grundlage für die Ernährung der Ansässigen und der Reisenden. Offensichtlich begründete die Weihrauchstraße die wirtschaftliche Prosperität von Mārib, welche die notwendige Voraussetzung für die Realisierung langfristiger und aufwendiger Projekte darstellte.

Ein großer Teil der Blütezeit von Mārib wird durch antike Inschriften erhellt, von denen die erste aus dem 8. Jh. v. Chr. bezeugt ist¹². Das aus Damm, Nord- und Südbau bestehende Ableitungssystem stellt den Höhepunkt der antiken Technologie dar, auch wenn es nicht unbedingt, wie in der Literatur angenommen wird¹³, die erste vollständige Absperrung des Wadis beinhaltet.

Der Herrschaftsbereich des sabäischen Reiches umfaßte zeitweise große Teile des Südwestens der Arabischen Halbinsel. Kolonien waren u. a. in Abessinien zu finden. Während der Blütezeit wurden auch die drei wichtigsten, dem sabäischen Reichsgott Almaqah geweihten Heiligtümer gegründet: Mārib (Awwam-Tempel), Širwāḥ und al-Masāḡid¹⁴ (s. Abb. 2).

Die Kontrolle der Sabäer über den größten Teil der Weihrauchstraße endete im 5. Jh. v. Chr., als die bis dahin unbedeutenden Königreiche Maʿīn den nördlichen Teil der Route, Qatabān und Ḥaḍramaut die am Indischen Ozean liegenden Häfen unter ihre Aufsicht brachten. Die Sabäer beherrschten von Mārib aus nur noch wenige Tagesetappen der Handelsstraße. Die Entwicklung des Reiches richtete sich nun mehr auf das westliche Hochland. Gegen Ende des 2. Jh. v. Chr. kommt es allerdings zu einer erneuten, wesentlichen Veränderung der Machtverhältnisse, als die Sabäer Maʿīn, das Zentrum des Minäerreiches, eroberten.

8 vgl. 1. Buch der Könige, Kap. 10.

9 vgl. H. v. Wissmann, Die Mauer der Sabäerhauptstadt Maryab (1976) 1. In diesem Zusammenhang erwähnt v. W. auch, daß wohl bis in das 2. Jh. n. Chr. der Name „Maryab“ gebräuchlich war.

10 vgl. C. Rathjens, Sabaica II (1955) 18; F. P. Albright – R. Le Baron Bowen, Archaeological Discoveries in South Arabia (1957) 87.

11 Diese Tatsache wird durch die Auswertung von Luftbildern nachgewiesen in U. Brunner – H. Haefner,

Die Erde 1990, 135-153; U. Brunner, Jemen-Report 22, 1991, H.1, 11-17.

12 Es handelt sich um die Inschriften Gl 1719+1717+1718, die v. Wissmann etwa auf 775 v. Chr. datiert. Vgl. v. Wissmann, Mauer, 3.

13 vgl. u. a. v. Wissmann, Mauer, 44.

14 Bei dem Namen „al-Masāḡid“ handelt es sich um die moderne Bezeichnung. Weitere Informationen enthält J. Schmidt, Tempel und Heiligtum von al-Masāḡid, 135-141. ABADY I (1982).

Das Bestreben der Römer nach Ausdehnung ihres Machtbereiches führte im Jahr 25/24 v. Chr. zum Feldzug einer römischen und nabatäischen Truppe nach Südarabien. Nachdem das Heer unter Aelius Gallus in der Umgebung von Märib mehrere Städte und auch die Bewässerungsanlagen zerstört hatte, bewirkten im Zuge der Belagerung der Stadt Märib wohl der Mangel an Nachschub und Wasser sowie Krankheiten den Rückzug.

In der Folgezeit ging der Fernhandel auf der Weihrauchstraße zurück. Der Grund lag in der starken Entwicklung der Schifffahrtsrouten, da durch die Entdeckung der Monsunpassage der direkte Seeverkehr zwischen Indien und Ägypten ermöglicht wurde. Zwangsläufig mußte der Bedeutungsverlust der Überlandverbindungen einen Niedergang der alten südarabischen Reiche am Osthang des Gebirges nach sich ziehen. Aus dieser Zeit sind mehrere Feldzüge der Sabäer bekannt, die hauptsächlich gegen das emporgekommene himjaritische Reich mit der im Hochland gelegenen Hauptstadt Zafār gerichtet waren. Schließlich brachten im 3. Jh. n. Chr. die Sabäer die Himjaren unter ihre Gewalt, dennoch lag der Mittelpunkt des neu entstandenen und u. a. mit der Eroberung Ḥaḍramauts weiter expandierenden sabäo-himjarischen Reiches im Westen, so daß die Bedeutung der Stadt Märib weiter zurückging. In der 1. Hälfte des 4. Jh. ereignete sich der erste durch eine Inschrift bekannte Dammbruch¹⁵. Aus den Jahren 449 und 450 sind zwei aufeinanderfolgende schwere Dammbrüche überliefert¹⁶. Darauf ist erst aus dem Jahr 542 ein weiterer schwerer Bruch des Dammes bezeugt¹⁷. Zu dieser Zeit befand sich das gesamte Südarabien bereits seit 19 Jahren unter abessinischer Herrschaft mit dem damaligen Statthalter Abraha. Etwa im Jahre 575 gelang es mit persischer Hilfe, die Abessinier zu vertreiben, allerdings wurde daraufhin der Jemen im Jahre 597 zu einer persischen Provinz. In die folgenden Jahre muß der katastrophale Dammbruch in Märib fallen, von dem in der 34. Sure des Korans berichtet wird. Offensichtlich waren die Verwüstungen so groß, daß ein Wiederaufbau für das unbedeutende Vasallengebiet am Rande des persischen Großreiches nicht in Frage kam. Der letzte persische Statthalter schloß sich im Jahre 628 dem Islam an, so daß der Jemen in der arabischen Halbinsel einen neuen Stellenwert erhielt.

1.2 STAND DER FORSCHUNG

Bereits der Franzose Th. Arnaud¹⁸ hat bei einem Besuch in Märib im Jahre 1843 eine erste, prinzipiell zutreffende Schilderung der großen Stau- und Ableitungsanlagen im Wādī Dana erstellt. Auch von dem Franzosen J. Halévy¹⁹ und seinem Begleiter H. Habšū²⁰ sind aus dem Jahre 1870 kurze Berichte über Märib bekannt. Als nächster Europäer besuchte der Österreicher E. Glaser²¹ im Jahre 1888 die Überreste der antiken Bewässerungskultur. In seinen umfangreichen Berichten ist eine erstaunlich genaue und vollständige Darstellung mit hervorragenden Skizzen enthalten. Die ersten Fotografien der Bauwerke wurden von dem ägyptischen Archäologen A. Fakhry²² nach einer Reise im Jahre 1952 publiziert. Die amerikanische Expedition (1951-1952) diente vor allem der archäologischen Erforschung der antiken Tempelanlagen; die Auswertung von Inschriften erbrachte dabei auch Informationen über wasserwirtschaftliche Anlagen.

15 Inschrift Ja 671

16 Inschrift CIH 540

17 Inschrift CIH 541

18 Arnaud deutete allerdings die Vielzahl von Bewässerungsbauwerken auf den Oasen als Grabmäler. Vgl. C. Ritter, *Die Erdkunde im Verhältniß zur Natur und zur Geschichte des Menschen*, Bd. 12 (1846²) 859. (Arnaud selbst veröffentlichte seine Beobachtungen

einschl. einiger Skizzen aus Märib erst sehr viel später: vgl. Th. Arnaud, *Journal Asiatique* 1874, 1-16.)

19 vgl. J. Halévy, *Études sabéennes* (1873/74)

20 vgl. H. Habsus, *Travels in Yemen* (1941)

21 vgl. E. Glaser, *Eduard Glasers Reise nach Märib* (1913)

22 vgl. A. Fakhry, *Archaeological Journey to Yemen* (1952)

Erst seit den siebziger Jahren wurden die Forschungsarbeiten fortgeführt und intensiviert. Vor allem die Aktivitäten des Deutschen Archäologischen Institutes führten zu einer systematischen Betrachtung der Bewässerungskultur im Bereich Märib. Erste Untersuchungen wurden von der Station Bagdad durchgeführt²³; nach der Gründung der Station Šan‘ā’ im Jahre 1978 fanden unter der Leitung von Prof. Dr. J. Schmidt regelmäßige Feldkampagnen statt. Mit der Zielsetzung „Antike Technologie“ wurde durch die Stiftung Volkswagenwerk in den Jahren 1982–1987 ein umfangreiches Vorhaben zur Erforschung der Bewässerungskultur Märib gefördert, wobei erstmals der Schwerpunkt auf ingenieurwissenschaftlichen Gesichtspunkten lag. Mit der Leitung der Arbeiten aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Sedimentologie und Landwirtschaft wurde Prof. Dr. H. Radermacher von der Universität Bonn beauftragt. Durch das Deutsche Archäologische Institut wurden in diesem Rahmen vor allen die verschiedenen Stau- und Ableitungsanlagen nach bauhistorischen Gesichtspunkten untersucht. In der Reihe „Archäologische Berichte aus dem Yemen“ des DAI wurden über Märib bereits mehrere Arbeiten aus verschiedenen Forschungsgebieten vorgelegt²⁴.

1.3 KONZEPTION DER UNTERSUCHUNG

Die Bewässerungskultur Märib stellt ein Funktionssystem dar, das in vielfältiger Hinsicht von natürlichen (äußeren) und anthropogenen Einflüssen abhängig gewesen ist. Daher ist für eine Analyse der Anlagen die Bewertung der natürlichen Grundlagen unabdingbar. Die Betrachtungen müssen sich auf das Klima, die Hydrologie und andere Umweltbedingungen erstrecken. Nach Möglichkeit sind die Aussagen auf die antike Betriebszeit zu beziehen. Es muß dabei berücksichtigt werden, ob sich die (klimatischen) Bedingungen während der sehr langen Betriebszeit oder seit der Aufgabe der Bewässerungskultur verändert haben.

Das Ziel der Arbeit ist es, basierend auf dem aktuellen Wissensstand, die technisch-wasserwirtschaftlichen Vorgänge von der Wasserfassung im Wadi bis zu der Feldaufleitung zu verdeutlichen. Die bisher bekannten Bauanlagen sollen rekonstruiert und zeitlich eingeordnet werden, um so die Entwicklung der antiken Technik zu veranschaulichen. Eine wichtige Rolle spielt die Auswertung der themenbezogenen Quellen, dabei sind zeitgenössische Inschriften und neuere Literaturquellen von wesentlicher Bedeutung.

Die Absichten können im wesentlichen mit Hilfe der folgenden Teilziele verdeutlicht werden:

- Analyse der natürlichen Ressourcen; die Untersuchungen der in Frage kommenden Wirkungsfaktoren (z. B. Klima, Hydrologie, Ökologie) sind nach Möglichkeit auf die antike Betriebszeit zu beziehen,
- Erforschung der Funktion und der Entwicklung der Anlagen zur Wasserfassung und -ableitung sowie der Bewässerungsnetze auf den antiken Oasen,
- Darstellung der relativen und nach Möglichkeit absoluten zeitlichen Einordnung der Bewässerungsanlagen.

Die Abschnitte der Arbeit lehnen sich an die genannten Fragestellungen an.

Im folgenden **Abschnitt 2** sollen die für eine Untersuchung der sabäischen Bewässerungssysteme notwendigen Rahmenbedingungen dargestellt werden. Von den natürlichen Voraussetzungen ist vor

23 Die Ergebnisse wurden vorgelegt in: BaM 9 (1978) u. BaM 10 (1979).

24 Verschiedene Abhandlungen in: ABADY I (1982). II (1983). III (1986). IV (1987). V (1991).

allein die Kenntnis der Hydrologie des Einzugsgebiets, bezogen auf die Staustelle bei Mārib, von Interesse. Als Grundlage für die Betrachtungen soll die prinzipielle Entwicklung der Stau- und Ableitungsanlagen kurz umrissen werden. Zur Orientierung ist auch eine Erklärung der definierten Betriebsperioden erforderlich. Zusätzlich werden wegen der übergeordneten Gültigkeit die unterschiedlichen Bauformen und -materialien kurz vorgestellt.

Nach der Darlegung der Voraussetzungen folgt in **Abschnitt 3** eine eingehende Beschreibung der großen Stau- und Ableitungsanlage im Wādī Dana nach technischen Gesichtspunkten. Auf eine Darstellung der hydraulischen Funktion in der gegenseitigen Abhängigkeit der Funktionselemente folgt eine Einschätzung der Versagenswahrscheinlichkeit zu der antiken Betriebszeit.

Der **Abschnitt 4** enthält eine Beschreibung der im Wādī Dana in Überresten erhaltenen Funktionsbauten aus älteren Betriebsperioden. Die Darstellung richtet sich ebenfalls an den technischen Kriterien aus. Rekonstruktionen des alten Zustandes sollen der Verdeutlichung dienen, wobei nach Möglichkeit plausible Alternativen geprüft werden.

Der **Abschnitt 5** widmet sich der Untersuchung der Bauanlage „al-Mabnā“ im Wādī Ġufaina nach funktionellen Gesichtspunkten, dabei werden mehrere Rekonstruktionsmöglichkeiten behandelt. Im Rahmen der Möglichkeiten wird der Zeitpunkt der Inbetriebnahme dieser Anlage eingegrenzt.

Der **Abschnitt 6** behandelt die Bewässerungsnetze auf den antiken Oasen von Mārib. Vorangestellt wird eine Beschreibung und Rekonstruktion des Hauptverteilerbauwerks auf der Nordoase. Alle Funktionselemente werden vorgestellt, wobei funktionelle Zusammenhänge besondere Berücksichtigung finden. Auf der Grundlage der ausgedehnten Feldarbeiten soll ein Teilbereich der Nordoase möglichst detailgetreu rekonstruiert werden. Die Untersuchungsergebnisse aus den Bewässerungsnetzen im Osten der Nordoase (Teilnetz „Ġufaina“) und auf der Südoase werden ebenfalls vorgestellt. Anschließend sind in (**Abschnitt 7**) einige Anmerkungen zur Einordnung der Betriebsperioden zusammengestellt. Dabei werden Probleme der absoluten zeitlichen Orientierung angesprochen.

1.4 UNTERSUCHUNGSBEREICH

Die zu untersuchenden Stau- und Ableitungsanlagen befinden sich bis auf eine Ausnahme in einem etwa 2 km langen Abschnitt des Wādī Dana im Osten der heutigen Republik Jemen. Über mehr als 10 km erstrecken sich zu beiden Seiten des Wadis die antiken Bewässerungsflächen (s. Abb. 2). Diese sog. Oasen, die Nordoase und die Südoase, umfassen gemeinsam eine Fläche von mehr als 9000 ha. Im Zentrum dieser landwirtschaftlichen Nutzflächen befindet sich die Stadt Mārib. Auf den Oasen sind heute nur noch geringe Teile des antiken Bewässerungssystems erhalten, da für großflächige rezente Nutzungen die meisten Bewässerungsbauwerke und nahezu alle Oberflächenformen wie Kanäle, Feldwälle sowie Bewirtschaftungsreste zerstört worden sind. Zum Zeitpunkt der Feldarbeiten (1983–1985) konnten in Teilgebieten noch flächendeckende Analysen der Bewässerungsnetze durchgeführt werden.

Das Wādī Dana bricht an dem Standort des letzten, größten Staudammes durch den Bergrücken der als Ġibāl Balāq bezeichneten Kalksteinmassive. Eine Aufweitung des Tales hinter diesem Kalkfelsen bildete den antiken Stauraum. Westlich davon beginnt das jemenitische Hochland, welches sich zu großen Teilen mit dem Einzugsgebiet des Wadis deckt.

Die nördliche Begrenzung der Nordoase bildet das Wādī Ġufaina/Sa'ila, welches am Rand eines umfangreichen Lavabezirkes fließt. In diesem Wadi ist die Anlage „al-Mabnā“ zu finden, die in der letzten Betriebsperiode dem Anstau und der Ableitung von Bewässerungswasser diente. Einzelne Ströme der erwähnten Lava sind auch noch unter den antiken Oasen erhalten, dies führte auch zu der Umbiegung des Verlaufs des Wādī Dana nach dem Durchbruch.

Im Südosten des Arbeitsgebietes verläuft das Wādī Masil. Es tritt an der „Bāb al-Falağ“ genannten Stelle aus dem Kalkgebirge aus und trug während der antiken Kulturzeit zu einem kleinen Teil zu der Wasserversorgung der Südoase bei. Im Rahmen der Feldarbeiten konnten allerdings keine weitergehenden Untersuchungen durchgeführt werden. Eine gewisse Bedeutung gewinnt dieses Wadi durch die Vermutung, daß es früher den Unterlauf des Wādī Dana bildete, bis vor etwa 5000 Jahren durch tektonische Veränderungen im Einzugsgebiet der heutige Verlauf entstand²⁵.

25 vgl. B. Marcolongo – A. Palmieri, *Environmental Modification and Settlement Condition in the Yalā Area*, (1989) Fig. 29.

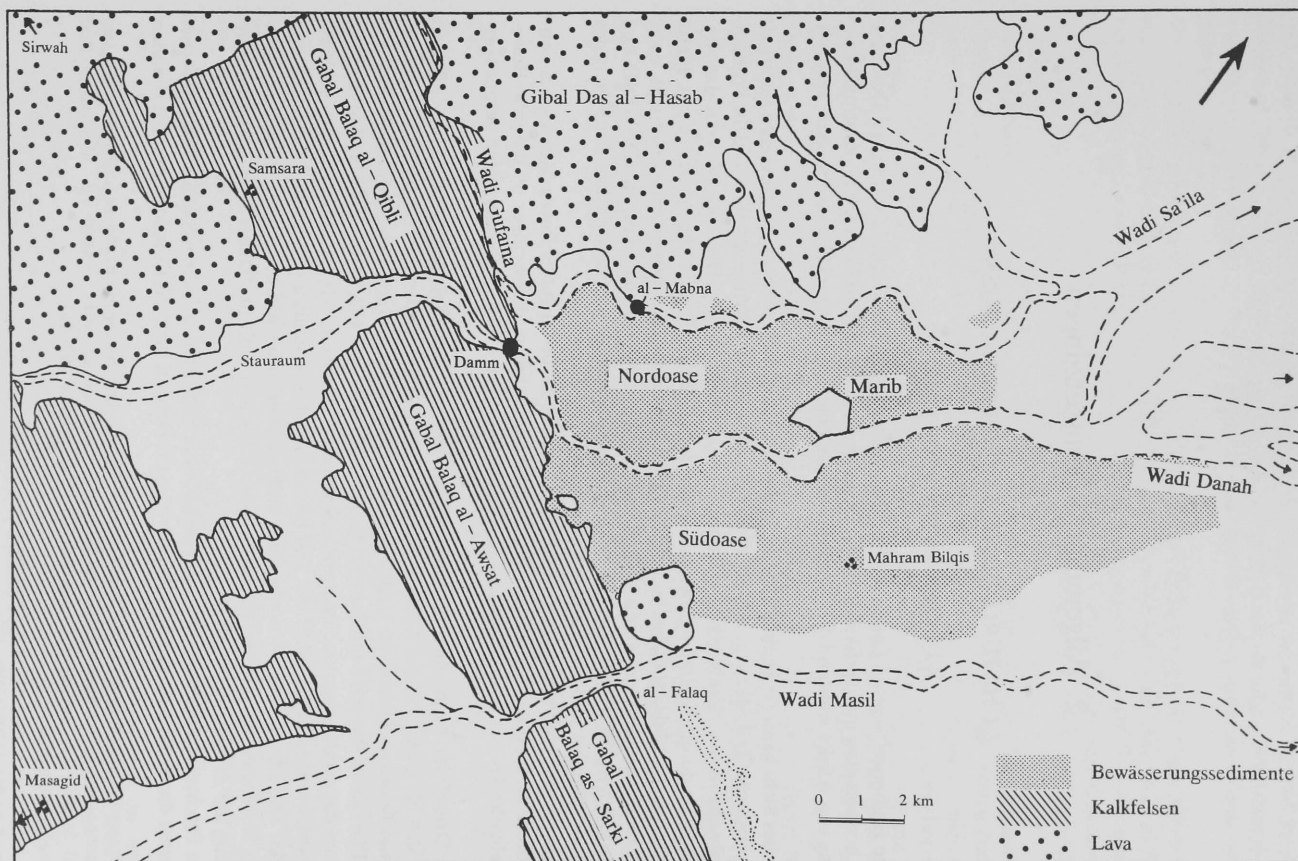


Abb. 2. Umgebung von Märib.

2. Allgemeine Voraussetzungen

2.1 NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

2.1.1 Geologie und Geomorphologie

Die Arabische Halbinsel²⁶ war im Lauf der geologisch-tektonischen Geschichte zahlreichen Deformationen sowie horizontalen und vertikalen Bewegungen unterworfen. Besonders die Separationsbewegung Arabiens von Afrika während des Tertiärs war von einer umfangreichen tektonischen Tätigkeit begleitet.

Aus geologischer Sicht kann die Halbinsel heute in zwei strukturell übergeordnete Provinzen unterteilt werden. Der westliche Teil, der sog. Arabische Schild, ist Teil einer Krustenplatte aus dem Präkambrium, die teilweise von vulkanischem, tertiärem Gestein überdeckt ist. Der östliche Teil, das sog. Arabische Schelf, ist durch die umfangreichen Sedimentsequenzen gekennzeichnet, die die o.g. Platte überdecken. Gerade der südwestarabische Schild ist bis heute tektonisch besonders beansprucht, da er im rechten Winkel von zwei bedeutenden Grabenstrukturen liegt (Rotmeergraben NNW-SSO und Adengolfgraben WSW-ONO). Die Leitlinien der tektonischen und morphologischen Einheiten des jemenitischen Hochlandes sind die Auswirkungen dieser Grabensysteme.

Der Meeresspiegel des Arabischen Golfes und in geringerem Maße auch des Roten Meeres war zeitweise um mehrere Meter höher als heute. Allerdings ist anzunehmen, daß weniger tektonische Bewegungen als vielmehr das weltweite Absinken des Meeresspiegels für diese Veränderungen verantwortlich sind²⁷.

Ungefähr ein Drittel der Arabischen Halbinsel ist bedeckt von äolischen Sedimenten. Im südlichen Teil befindet sich als größtes dieser Gebiete die sog. Rub' al Khali („Das Leere Viertel“)²⁸, welches durch die Oman-Berge im Osten, das Ḥaḍramaut-Hochland und das Aden-Hinterland im Süden und das Al Hijaz-Plateau im Westen begrenzt wird (s. Abb. 1). Mit einer Fläche von 600 000 km² handelt es sich dabei um das größte zusammenhängende Sandgebiet der Welt. Als Resultat von zwei vorherrschenden Windrichtungen ist der westliche Teil hauptsächlich von nahezu parallelen Sandrücken und Dünen bedeckt. Die Ebene senkt sich von einer anfänglichen Höhe von mehr als 1200 m ü.M. über 1200 km nach Nordosten bis auf Meeresniveau am Arabischen Golf ab. Dabei beträgt die mittlere Geländeneigung auf den ersten 200 km etwa 0,5 %.

Als Überreste feuchterer Perioden sind unter den oberen Schichten äolischen Sandes Schichten vorhanden, in denen die Sedimente durch Kalk oder Gips verkrustet bzw. zu Konglomeraten verbunden

26 Eine hervorragende Darstellung der natürlichen Ausgangsbedingungen auf der Arabischen Halbinsel enthält: S.S. Al-Sayari – J.G. Zötl (Hrsg.), Quaternary Period in Saudi-Arabia 1 (1978) 4–44.

27 vgl. A.R. Jado – J.G. Zötl (Hrsg.), Quaternary Period in Saudi Arabia 2 (1984) 304f. 322.

28 Zu den Bedingungen und zu der Entwicklungsgeschichte der Rub' al-Khālī vgl. Al-Sayari – Zötl (Hrsg.), 252–263.

sind. Dies ist als Hinweis auf stehende Gewässer der Antike zu verstehen. Für die Periode zwischen 34000 und 15000 v. Chr. ist das Vorkommen größerer Seen in dem heutigen Wüstengebiet nachgewiesen. Aufgrund der intensiven Winderosion sind die Betten antiker Seen und Flüsse an zahlreichen Stellen freigelegt²⁹.

Am äußersten südwestlichen Rand dieses Wüstenareals³⁰ befindet sich die Stadt Märib inmitten von ausgedehnten historischen Bewässerungsflächen, die aufgrund ihrer Lage zum Wadi in Nordoase und Südoase unterteilt sind. Die landwirtschaftlichen Kulturflächen wurden mit Wasser versorgt, welches aus dem Wādī Dana abgeleitet wurde. Dieses Wadi tritt bei Märib aus dem jemenitischen Hochland in die Ebene aus. Das Einzugsgebiet umfaßt über 8200 km² einer z. T. niederschlagsreichen Gebirgslandschaft.

Die geomorphologische Situation³¹ in der Umgebung von Märib vor Beginn des geregelten Bewässerungslandbaus war gekennzeichnet durch einen Wadiverlauf, der sich in einer weiten Akkumulationsebene verzweigte. Innerhalb verschiedener Terrassen lag das Wadi in einem natürlichen, mit Sand und Kies angefüllten Kanalbett. In Abhängigkeit von dem variierenden Wasserdargebot versiegte das Gewässer in der Wüste, zu niederschlagsreichen Phasen vereinigte sich der Abfluß mit dem anderer Wadis. Die genannten Terrassen setzten sich zusammen aus feinkörnigen Sedimenten, hauptsächlich fluviatilem Sand und Silt mit äolischen Anteilen. Während früherer Feuchtperioden und besonders anläßlich größerer Abflußereignisse wurden immer wieder Teile der Terrassen durch Erosionsvorgänge abgetragen. Direkt nach dem Durchbruch durch die beiden Gebirge des Ġabal Balaq traf das Wadi auf einen relativ jungen Lavastrom und wurde so nach Süden abgelenkt.

Das Wadi hat seit Aufgabe des Bewässerungsbetriebes durch sein mäandrierendes Verhalten eine relativ breite Talrinne zwischen den antiken Oasen geschaffen. Besonders im Luftbild sind an den Oasenrändern die temporären Prallufer ablesbar. In diesem Tal sind durch das Wadi verschiedene Terrassen³² gebildet worden. Die Niederungsbereiche werden noch heute überwiegend als landwirtschaftliche Kulturflächen genutzt. Zur Bewässerung dienen dort hauptsächlich einfache Ableitungseinrichtungen aus dem Wadi, wie es im Jemen an zahlreichen anderen Stellen üblich ist.

2.1.2 Klimabedingungen

Das Einzugsgebiet des Wādī Dana (s. Abb. 3) ist nach Rathjens³³ verschiedenen Klimaregionen des Jemen zuzuordnen. Die Veränderungen der Morphologie des Oberlaufes haben die Ausbildung weiter Talebenen im Hochland bewirkt. Dort ist auf der Grundlage des größten Jahresniederschlags der Arabischen Halbinsel und des Grundwasservorkommens ein (Bewässerungs-)Landbau möglich. Diese Talebenen tragen zum Abfluß im Wādī Dana allerdings auch aufgrund der topographischen Verhältnisse nur in sehr geringem Maße bei.

Der weitaus überwiegende Teil des Einzugsgebietes ist durch stark gegliederte Talbereiche gekennzeichnet. Wesentliche Klimafaktoren in dieser Region der östlichen Gebirgshänge sind zwei jährliche Regenperioden. Diese ermöglichen in den Talböden den Anbau zahlreicher Fruchtarten, in begünstigten Hanglagen ist sogar der Anbau von Kaffee bekannt³⁴. Im Wādī Dana kommt es im Frühjahr (etwa 20 Tage) und besonders im Sommer (etwa 35 Tage) zu erheblichen Abflüssen.

29 ebd.

30 Dieser Teil der Wüste wird als „Ramlat as-Sab'atayn“ bezeichnet.

31 Diese Situation kann durch Untersuchungen an mehreren Wadis in Asir (Saudi-Arabien) sehr gut rekonstruiert werden. Vgl. Jado – Zötl (Hrsg.), 152 ff.

32 Auf diese Terrassen weist schon Brunner hin. Vgl. U.

Brunner, Die Erforschung der antiken Oase von Märib mit Hilfe geomorphologischer Untersuchungsmethoden, 8. ABADY II (1983)

33 vgl. C. Rathjens sen. u. a., Beiträge zur Klimakunde Südwest-Arabiens, (1956) 31 ff. Abb. 3.

34 ebd., 33.

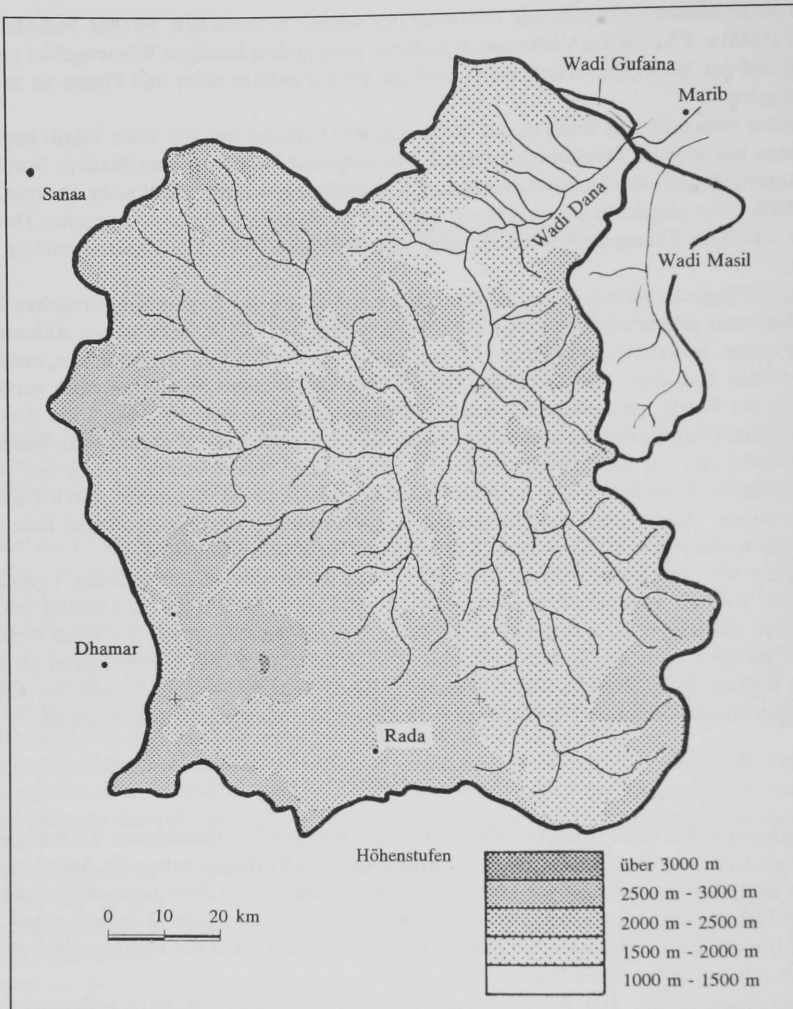


Abb. 3. Einzugsgebiete der Wādīs Dana, Ġufaina und Masil.

Die Entstehung der Frühjahrsregenzeit ist noch nicht eindeutig geklärt. Flohn³⁵ sieht den Grund in der Dynamik und dem Zusammenwirken tropischer und außertropischer Einflußfaktoren. Die Sommer-niederschläge gehen unbestritten auf feuchte Luftmassen zurück, die durch den Südwestmonsun herantransportiert werden. Es ist zu beachten, daß aufgrund der sehr differenzierten Reliefgestaltung des Einzugsgebietes regionale und lokale Windsysteme entscheidende Einflüsse auf das Lokalklima ausüben³⁶. Allgemeine Vergleiche mit dem Klima des nordafrikanischen Raumes sind schwierig, da das

35 vgl. H. Flohn, Erdkunde 19, 1965, 179-191.

36 vgl. G. Remmele, Erdkunde 43, 1989, 35.

Windsystem der Arabischen Halbinsel stark von den relativ einfachen Verhältnissen im Saharagürtel abweicht³⁷.

Die räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschläge ist extrem hoch. Kennzeichnend sind sporadische, z. T. sehr intensive Niederschlagsereignisse, die in eng begrenzten Gebieten auftreten. Aufgrund der besonderen, für semi-aride Bereiche typischen Bedingungen ist die Abschätzung eines mittleren Jahresniederschlags nur begrenzt möglich, zumal in der gesamten Region nur wenige Klimastationen mit ausreichend langen Meßreihen vorhanden sind.

Für die kontinentale Lage von Märib sind geringe Luftfeuchtigkeit und große Temperaturunterschiede typisch. In dem nahezu ariden Klima der Umgebung von Märib treten Niederschläge meist als Starkregen mit kurzer Dauer bei hoher Intensität auf. Dies führt v. a. auf den antiken Oasen zu umfangreichen Erosionserscheinungen und zur Bildung von Krusten.

Seit der Aufgabe der Bewässerungskultur sind die antiken Bewässerungsflächen durch Wasser und Wind in großem Umfang verändert worden. Neben der Gully-(Rinnen-)Erosion bei Niederschlagsereignissen ist eine umfangreiche äolische Flächenerosion festzustellen. Als Folge sind aus den letzten Betriebsjahren nahezu überall³⁸ nur noch die Bewässerungsbauwerke erhalten, während der größte Teil der aktuellen Oberfläche älteren Zeiten zuzuordnen ist.

Bereits früher wurde bei Jemen-Forschungen vermutet, daß sich in diesem Raum, d. h. auch im Einzugsgebiet des Wādī Dana, das Klima mehrfach geändert hat³⁹. Es ist allerdings stets zu beachten, daß die Veränderungen der Umwelt und der Lebensgrundlagen nicht nur durch Klimawechsel (negativ) beeinflusst wurden, einen zweiten wesentlichen Faktor stellen anthropogene Veränderungen dar⁴⁰. Überweidungen und Abholzungen (für Brennholz und Bauzwecke) hatten entscheidende Auswirkungen auf das empfindliche Ökosystem.

Nach einer durch starke Trockenheit geprägten Periode zwischen ca. 18 000 und 8000 v. Chr. folgte die sog. mittelholozäne Regenzeit (ca. 8000–5500 v. Chr.). Für den Zeitraum zwischen 3500 und 2000 v. Chr. wird ebenfalls vermutet, daß eine Feuchtphase das Klima des Jemen prägte. Es kann angenommen werden, daß im Hochland des Jemen und damit im Einzugsgebiet des Wādī Dana um 2000 v. Chr. ein Austrocknungsprozeß einsetzte, bis etwa um die Zeitenwende die heutigen Klimaverhältnisse erreicht waren⁴¹. Andere Quellen beschreiben für diesen Zeitraum mehrere humide Perioden auf der Arabischen Halbinsel, nämlich 7000–6000 v. Chr. und 5000–2500 v. Chr.. Für die innerarabische Wüste Rub' al Khālī ist davon auszugehen, daß das bis heute andauernde aride Klima um 4000 v. Chr. einsetzte⁴².

2.1.3 Aspekte zu Besiedlung und Morphologie des Einzugsgebietes

In höher gelegenen Bereichen (um 2000 m – 2200 m ü.M.) des Einzugsgebietes des Wādī Dana wurden bereits mehrere neolithische Fundplätze untersucht. Besonders im Wādī at-Tayyila sind Reste fester Siedlungsplätze eingehend untersucht worden. Diese Kulturen können nach bisherigem Stand in den Zeitraum zwischen 6. und 4. Jahrtausend v. Chr. eingeordnet werden⁴³. Es wurden Hinweise auf eine bedeutende Rolle der Jagd und auf eine beginnende Hirtenkultur entdeckt. Die Untersuchungen

37 vgl. Jado – Zötl (Hrsg.), a. O. 301.

38 Lediglich am Fuß des als Windschutz fungierenden Gebirges ist die Oberfläche der jüngsten Periode zuzurechnen.

39 vgl. Rathjens sen. u. a.: Beiträge Klimakunde, 35.

40 vgl. W.C. Brice (Hrsg.), The Environmental History

of the Near and Middle East since the Last Ice Age (1978) 272f.

41 vgl. Fedele, Jungsteinzeit, 37f.

42 vgl. Al-Sayari – Zötl (Hrsg.), Quaternary Period 1, 262f.

43 ebd.

des Bodens, der den dort gefundenen neolithischen Steinbauten zuzuordnen ist, ergaben eindeutige Beweise für die Einordnung in die o.a. mittelholozäne Regenzeit.

In der Umgebung dieses Wadis wurden etwa 25 Fundplätze protohistorischer Siedlungen entdeckt, die nach einer Ausgrabung in das späte 2. Jahrtausend v. Chr. eingeordnet werden⁴⁴. Für diese Gegend im oberen Einzugsgebiet des Wādī Dana sind für den betreffenden Zeitraum ausgedehnte Flußsedimente nachgewiesen, die durch ihre landwirtschaftliche Nutzbarkeit die wesentliche Lebensgrundlage für die dort ansässige Bevölkerung darstellten. Es ist zu beachten, daß das dort zur Verfügung stehende Wasserdargebot zum größten Teil genutzt wurde. Bei einer Betrachtung der hydrologischen Zusammenhänge zu den entsprechenden Betriebsperioden wären die daraus entstehenden Auswirkungen für das Wasserdargebot an der Staustelle des Dammes in Mārib zu berücksichtigen.

Wesentliche Erkenntnisse über das Einzugsgebiet in der Antike haben Untersuchungen italienischer Wissenschaftler erbracht⁴⁵. Es wurde nachgewiesen, daß das Wādī Dana in seinem Unterlauf ursprünglich weiter südlich verlief und durch das Bāb al-Falağ/Wādī Masil in die Ebene austrat (s. Abb. 4). Der heutige Verlauf wurde erst durch tektonische Vorgänge, die etwa um 8000–6000 v. Chr. vermutet werden, geschaffen. An dem ursprünglichen Wadiverlauf bestand noch z.Zt. der Sabäer etwa 10 km westlich des großen, dem Reichsgott Almaqah geweihten Heiligtums al-Masağid in der Nähe der heutigen Ortschaft Yalā eine wichtige Siedlung mit einem kleinen Damm zur Umlenkung des dort verlaufenden Nebenwadis und umfangreichen Bewässerungsflächen. Dieser Standort soll nach Zerstörung des Dammes im 6./5. Jh. v. Chr. aufgegeben worden sein⁴⁶. Es ist naheliegend, daß auch der an dieser Stelle genutzte Teil des Wasserdargebots während der älteren Betriebsperioden in Mārib nicht zur Nutzung zur Verfügung stand.

Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist die Überlegung, daß die Südoase z. T. auch durch Wasser aus dem Wādī Masil versorgt wurde. Allerdings war das dadurch zur Verfügung stehende Dargebot aufgrund der geringen Größe dieses kleinen Einzugsgebietes und der dort herrschenden Bedingungen nur relativ gering. Der Durchbruch dieses Wadis zwischen dem Ġabal Balaq al-Awsaṭ und dem Ġabal Balaq aš-Šarqī (s. Abb. 4) stellte in frühgeschichtlicher Zeit einen Platz von großer kultischer Bedeutung dar. Die Existenz des von Wissmann für diese Stelle erwähnten Dammbaues „el-Feleq“⁴⁷, mit dessen Hilfe der Südostteil der Südoase bewässert worden sein soll, ist bei zukünftigen Feldarbeiten zu überprüfen.

2.1.4 Hydrologie

Zum Verständnis der Funktion der antiken Stau- und Ableitungsanlagen ist die Kenntnis der Hydrologie des Einzugsgebietes unerlässlich. Eine Betrachtung des Wasserdargebots an der Sperrstelle muß Aussagen über Abflußanglinien, -spitzen und -summen beinhalten, für den Zeitpunkt der Untersuchungen lagen für die Sperrstelle allerdings keine Abflußmessungen vor. Die Erfassung extremer Hochwasserereignisse und der damit verbundenen Abflußspitzen ist für die Funktionsbetrachtung und die Definition von Grenzsituationen des Gesamtsystems von grundlegender Bedeutung. Zusätzlich ermöglicht die Untersuchung mittlerer Abflußverhältnisse eine Betrachtung der durchschnittlichen Betriebsverhältnisse der Bewässerungsanlagen. Die ausführlichen hydrologischen Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens von B. Tischbein durchgeführt⁴⁸.

44 vgl. de Maigret, Bronzezeit, 49.

45 zum folgenden vgl. IsMEO (Hrsg.), East and West 35, 1985, 338-353.

46 vgl. IsMEO (Hrsg.), East and West 35, 1985, 345.

47 Auf diesen Umstand weist besonders v. Wissmann hin. Vgl. H. v. Wissmann – M. Höfner, Beiträge zur

historischen Geographie des vorislamischen Südarabien, (1952) 25f.

48 vgl. H. Radermacher u. a.: Die Wasserkulturen der Sabäerhauptstadt Mārib (1987) 46–94. (Unveröffentlichter Bericht, vorgelegt bei der Stiftung Volkswagenwerk). Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung werden im folgenden stichwortartig dargestellt.

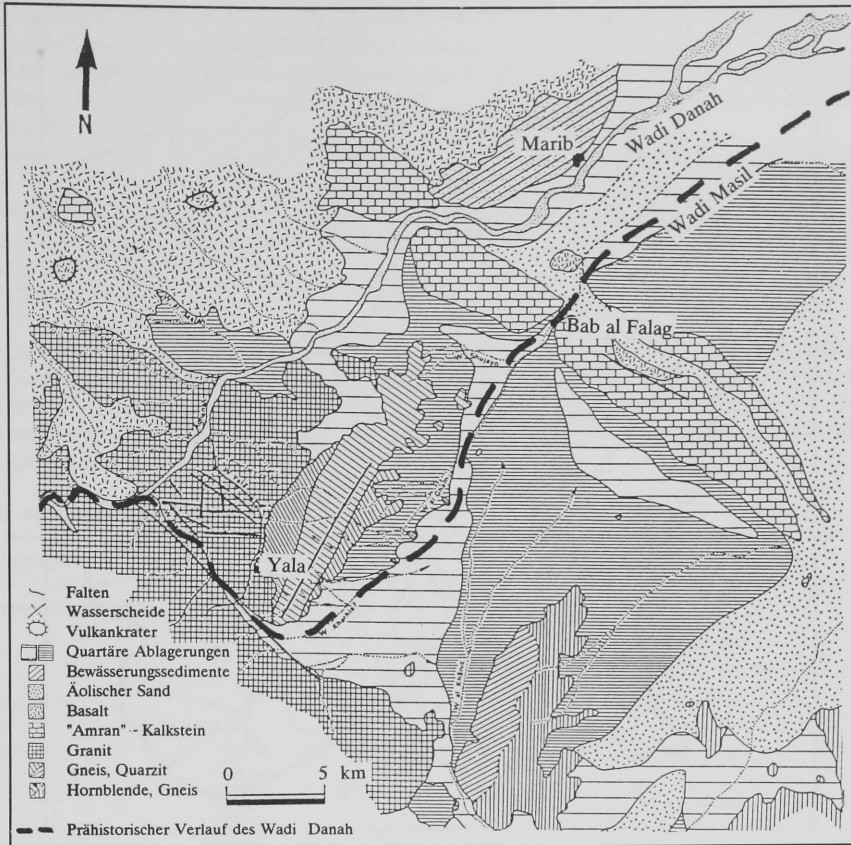


Abb. 4. Geologische Karte eines Teiles des Einzugsgebietes.

Auf der Grundlage der begrenzten Datenbasis kamen prinzipiell 3 Ansätze für die Bestimmung der erforderlichen hydrologischen Werte in Frage:

- Niederschlags-Abfluß-Modell zur Simulation von Abflußganglinien,
- Übertragung von Daten eines vergleichbaren Gebietes,
- Verwendung von Angaben aus Literaturquellen.

Der abflußrelevante Teil des Einzugsgebietes des Wādī Dana für den Bezugspunkt der antiken Stau-
stelle hat eine Größe von etwa 8200 km².

Für die Abflußbildung sind mehrere Faktoren von Bedeutung:

- Morphologie (Relief, Neigungsverhältnisse),
- Bodenmerkmale,
- Vegetation,

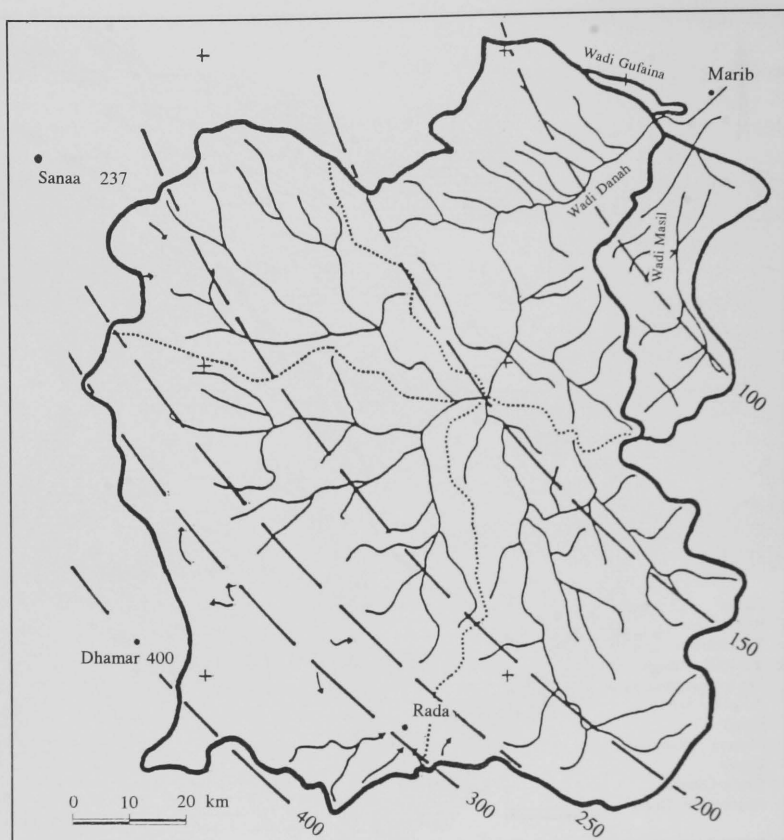


Abb. 5. Isohyeten für das Einzugsgebiet [mm/a].

- Klimaverhältnisse (absolute Höhenlage ü.M.),
- Form des Gesamt- bzw. der Teileinzugsgebiete,
- Dichte und Struktur des Gewässernetzes,
- Landnutzung und Siedlung.

Die heutige Vegetation im Einzugsgebiet ist i. a. als sehr spärlich zu bezeichnen. Lediglich in den hochgelegenen Teilen (u. a. im Westen) ist aufgrund des größeren Niederschlagsaufkommens ein umfangreicherer Pflanzenbestand vorhanden. Da die aktuellen Ausgangsbedingungen für eine landwirtschaftliche Nutzung dort ungünstig sind, ist die Siedlungsdichte sehr gering.

Da keine meteorologischen Beobachtungen aus dem Einzugsgebiet vorliegen, müssen die Niederschlagsverhältnisse aus Daten von Meßstationen benachbarter Regionen abgeleitet werden. Es kann ein mittlerer Gebietsniederschlag von etwa 170 mm/a zugrundegelegt werden. Das Isohyetenbild (s. Abb. 5) zeigt Maximalwerte im Westen von über 300 mm/a, die Minimalwerte, die deutlich unter

100 mm/a liegen, sind im Nordosten bei Märüb zu finden. Diese Werte werden durch großräumige Übersichten⁴⁹, die für die Arabische Halbinsel vorliegen, bereits angedeutet.

Durch die kompakten Proportionen des Einzugsgebietes (Ausdehnung in Nord-Süd-Richtung max. etwa 140 km, in West-Ost-Richtung max. etwa 100 km) und die gleichmäßig gegliederte Struktur werden Abflußereignisse mit sehr hohen Spitzen im Bezugspunkt gefördert.

Das Abflußverhalten ist charakterisiert durch ein periodisches Auftreten von Abflußereignissen, typisch sind ein räumlich und zeitlich stark variierendes Niederschlagsdargebot und Abflußganglinien mit hohen Spitzen und geringem Volumen. Für eine Analyse des langfristigen Jahresdargebotes ist im wesentlichen von 8 Abflußereignissen pro Jahr auszugehen. Diese sind im Verhältnis 3 : 5 auf zwei Perioden aufzuteilen:

- 20 Tage im April,
- Mitte Juli bis Mitte August.

Die Simulation von Einzelereignissen führt zusammengefaßt zu den in Abb. 6 dargestellten Ergebnissen. Die charakteristischen Kenndaten dieser Ereignisse sind in Tab. 1 zusammengestellt. Von Bedeutung für die Bemessung notwendiger Einrichtungen zur Hochwasserentlastung sind die Abflußspitzen einzelner Ereignisse. Die entsprechenden Abflußsummen werden bei der Betrachtung von Abläufen im Stauraum genutzt.

Tab. 1 Hydrologische Kenndaten einzelner Ereignisse

Abflußhäufigkeit		Abflußspitze [m ³ /s]	Abflußsumme [10 ⁶ m ³]
Niederwasserereignisse	20jährig	22	2
	10jährig	60	5
	5jährig	105	9
mittleres Ereignis		200	18
Hochwasserereignisse	5jährig	480	43
	10jährig	800	72
	25jährig	1090	98
	50jährig	1310	117
	200jährig	1460	131
	1000jährig	1730	156

Unter Beachtung der o.a. Bedingungen hinsichtlich des Jahresdargebotes wurde eine mittlere jährliche Abflußsumme von $144 \times 10^6 \text{ m}^3$ ermittelt. Dieses Volumen steht an der Sperrstelle für die Nutzung im Bewässerungssystem zur Verfügung.

Die Ermittlung der mittleren jährlichen Abflußsumme ist auch mit Hilfe eines Abflußbeiwertes möglich. Dieser kann aus einer vergleichenden Betrachtung mit dem Einzugsgebiet des Wādī Nağrān, welches im Südwesten Saudi-Arabiens sehr ähnliche Rahmenbedingungen aufweist, gewonnen werden. Diese Vorgehensweise führt zu einem Wert für die Jahressumme von $150 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Eine Gegenüberstellung der ermittelten Werte mit Daten, die anlässlich der Planung des neuen Staudammes bei Märüb festgestellt wurden, liegt nahe. Allerdings besitzen die Abflußspitzen Werte⁵⁰, die um die Faktoren 4,7–6,4 höher liegen als die im Rahmen des Forschungsprojektes ermittelten. Da

49 vgl. A. Baumgartner – E. Reichel, Die Weltwasserbilanz (1975) Karte 10; Al-Sayari – Zötl (Hrsg.): Quaternary Period 1, Abb. 6.

50 vgl. Elektrowatt AG, Märüb Dam and Irrigation Project, Annex VII (1978) 44.

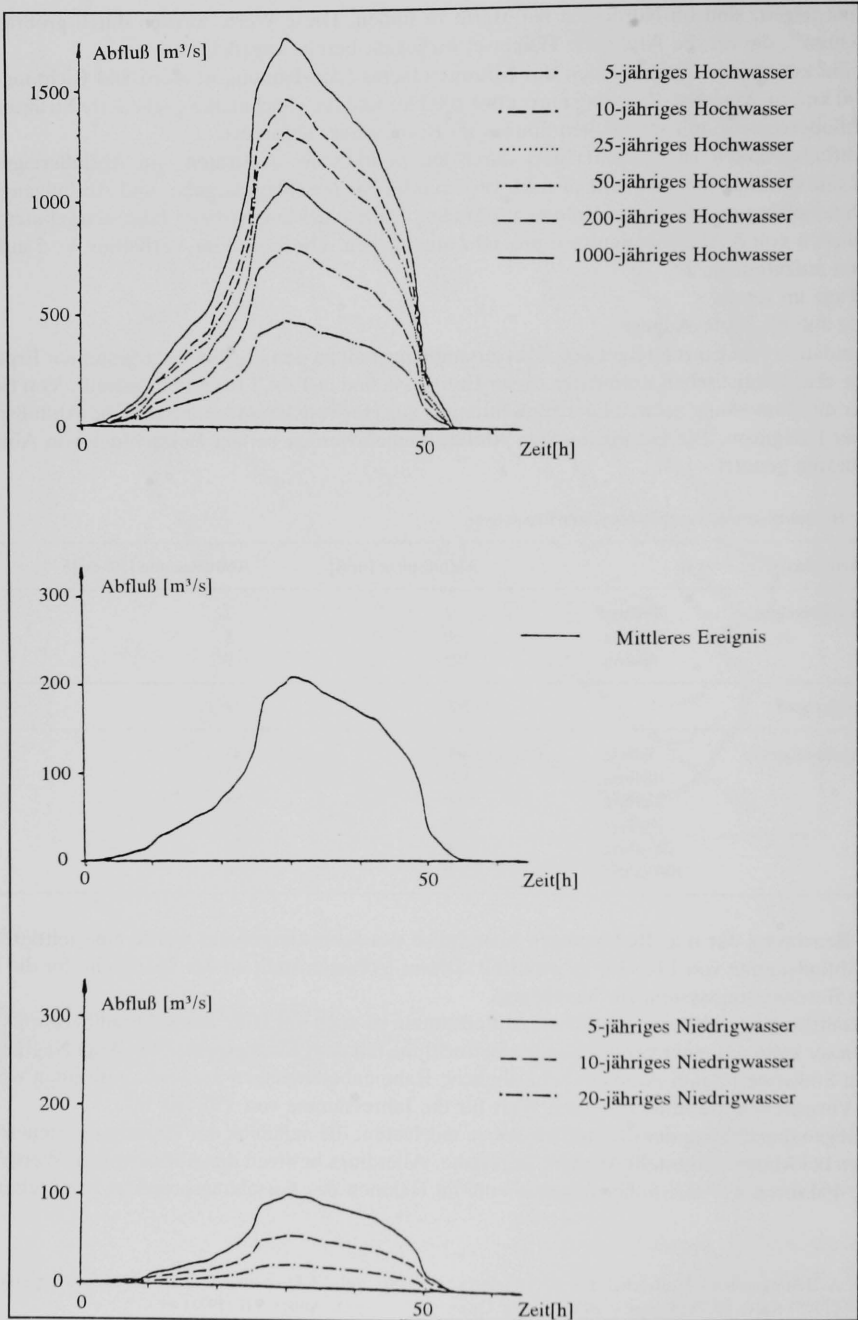


Abb. 6 Abflußganglinien verschiedener Wiederkehrintervalle.

diese Angaben u. a. als Bemessungsgrundlage für die aktuelle Planung einer Hochwasserentlastung dienen mußten und somit ein hohes Maß an Sicherheit verlangt war, ergibt sich die große Differenz. Auffällig bei einem Vergleich mit dieser Quelle ist außerdem noch, daß die Jahressumme eines „durchschnittlichen Jahres“⁵¹ mit dem Betrag von $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ noch durchaus vergleichbar ist mit dem hier verwendeten Wert von $144 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Einen interessanten Aspekt stellen zusätzlich während der Feldarbeiten untersuchte Anzeichen von aktuellen Abflußereignissen im Wādī Dana dar. Mit diesen Hinweisen auf die jeweilige maximale Wasserspiegelhöhe konnten Abflußereignisse mit Spitzen von $830 \text{ m}^3/\text{s}$ und $450 \text{ m}^3/\text{s}$ rekonstruiert werden, daraus kann bei einem Vergleich mit den simulierten Werten auf Hochwasserereignisse mit 10- und 4-jähriger Häufigkeit geschlossen werden.

Aus dem Einzugsgebiet des Wādī Ġufaina steht nach den Untersuchungen von Tischbein ein mittleres Jahresvolumen von $1,5\text{--}2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ an der Sperrstelle zur Verfügung. Für das Wādī Masil wurde eine jährliche Abflußsumme von etwa $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ ermittelt.

2.2 ÜBERBLICK DER ABLEITUNGS- UND VERTEILUNGSEINRICHTUNGEN

Eine funktionale und räumliche Aufgliederung der Funktionssysteme in die Bereiche „Nordoase“ und „Südoase“ ist aus mehreren Gründen sinnvoll:

- In den frühen Betriebszeiträumen der sabäischen Bewässerungskultur waren die Systeme funktionell voneinander unabhängig. Aufgrund des geringen Umfanges der bewässerten Flächen waren trotz des zeitlich und mengenmäßig begrenzten Wasserdargebotes i.a. keine Restriktionen für einen gleichzeitigen Betrieb der Anlagen erforderlich.
- Durch die Anlage einer Vollabspernung des Wadis mit gleichzeitiger Ableitung zu Nord- und Südoase wurden Abhängigkeiten bei Betrieb und Funktion der Auslässe (Wehre) geschaffen. Großräumige Untersuchungen auf der Nordoase haben in Verbindung mit der Aufnahme von Teilbereichen der Südoase gezeigt, daß die baulich-konstruktive Ausstattung der antiken Bewässerungssysteme der Nord- und Südoase in den entscheidenden Merkmalen vergleichbar ist. Eine erweiterte, flächendeckende Untersuchung der Überreste hätte keine wesentliche Verbesserung der Erkenntnisse erbracht. Entsprechende Feldarbeiten hätten erheblichen Mehraufwand erfordert, da weite Flächen, vor allem der Südoase, rezent landwirtschaftlich genutzt werden. Die Bewässerungsbauwerke der späten Kulturperioden sind daher entweder zerstört bzw. abgetragen oder unter den in Betrieb befindlichen Kulturf Flächen gelegen.
- Das nur während der letzten Betriebsperiode in Betrieb befindliche Teilsystem „Ġufaina“ besitzt baulich und funktionell ebenfalls keine entscheidenden Eigenarten, so daß auch hier eine Ausweitung des Untersuchungsrahmens nicht zu einer Verbesserung der Ergebnisse beigetragen hätte.

Eine weitere inhaltlich-funktionelle Unterteilung bezieht sich auf die Elemente des Bewässerungssystems:

– Ableitungssysteme

Diese im oder am Wadi gelegenen Systeme und ihre zugehörigen Einzelbauwerke hatten die Aufgabe, das natürliche Wasserdargebot für die Bewässerung räumlich zu konzentrieren und mit entsprechend hohem Wasserspiegelniveau durch Kanäle (Hauptzuleitungskanäle) auf die Bewässerungsflächen (Oasen) abzuleiten. Dieses Wasserspiegelniveau mußte so ausgelegt sein, daß die topographisch ungünstigst gelegene Feldfläche über freies Wasserspiegelgefälle noch quantitativ

51 ebd., 42.

ausreichend versorgt werden konnte. Diese hydraulischen Zielsetzungen begründeten die Höhenbedingungen für die Standorte der Ableitungsanlagen bezüglich des Wadis.

Dieser Umstand führte auch für die zeitliche Entwicklung der Funktionssysteme der antiken Bewässerung zu entscheidenden Konsequenzen. Während der Betriebsperioden vollzog sich durch die im Bewässerungswasser enthaltene Sedimentfracht eine kontinuierliche Aufsedimentierung und Niveauerhöhung der Oasen. Zwangsläufig führte dies zu baulich-konstruktiven und auch konzeptionellen Neu- und Umgestaltungen des gesamten Funktionssystems. Die mit einem Höhengewinn verbundene Lageänderung der Ableitungsbauwerke oder nur ihre bauliche Erhöhung sind für eine relative zeitliche Zuordnung der Bauwerke von großer Bedeutung.

– **Verteilungssysteme**

Diese den gesamten Oasenbereich umfassenden Systeme erfüllten mit Flächen-, Linien- und Punktelementen die Aufgabe des Wassertransportes mit freiem Wasserspiegelgefälle bis zu den landwirtschaftlich genutzten Bewässerungsflächen. Aufgrund der Aufsedimentierung der Oasen mußten auch diese Systeme von Zeit zu Zeit umgestaltet werden. Dabei muß allerdings festgestellt werden, daß die Zeiträume zwischen ausschließlichen Bauwerkserhöhungen im Gegensatz zu den bei den Ableitungsbauwerken festzustellenden wesentlich kürzer waren.

Zur Unterscheidung und Abgrenzung relevanter Entwicklungsperioden der Funktionssysteme der sabäischen Bewässerungskultur ist es naheliegend, zunächst eine Analyse der generellen Möglichkeiten hinsichtlich der Ableitungsbauwerke zu erstellen.

2.2.1 Prinzipielle Entwicklungsschritte der Anlagenkonzeption

In dem konzeptionellen Aufbau und der baulichen Gestaltung der Stau- und Ableitungsanlagen spiegelt sich die gesamte zeitliche und technische Entwicklung der Bewässerungskultur in Mārib wider. Zu Beginn der Entwicklung boten Naturoasen und Schwemmfächer günstige Voraussetzungen für Bewässerungswirtschaft und die Gründung fester Siedlungen. Bereits ohne anthropogene Eingriffe war den ersten Siedlern ein Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen auf den feinkörnigen Sedimenten möglich, die natürlich in Teilbereichen des Wadifächers zur Ablagerung gelangten. Dies geschah im Wadibett und vor allem an Stellen, wo der Sail aufgrund der topographischen Situation temporäre Seen bildete. Der Zeitpunkt der Einführung einer geregelten Beckenbewässerung, der sicherlich von besonderem Interesse ist, läßt sich nicht bestimmen. Es kann aber bereits hier festgestellt werden, daß die bisher bekannten, ältesten Ableitungsanlagen bereits auf einer längeren Tradition aufbauen müssen.

Eine frühe Form der Ableitung des Wassers aus dem Wadi stellten dann sicher einfache, wenig dauerhafte Buhnen aus geschüttetem Kiesmaterial dar, mit deren Hilfe das Wasser ohne befestigte Bauwerke auf die Kulturf Flächen geleitet wurde. Derartige Einrichtungen sind auch heute noch im Jemen in großer Zahl anzutreffen⁵², sie konnten während der Feldaufenthalte rezent auch mehrfach in der Umgebung von Mārib beobachtet werden. Bereits mit diesen einfachen Anlagen können beachtliche Flächen mit Wasser versorgt werden. Im antiken Mārib führte die fortschreitende Entwicklung der Wasserableitung und -verteilung auf den kontinuierlich vergrößerten Bewässerungsflächen zu einem differenzierten Kanalnetz mit den zugehörigen Bauwerken (massive Auslässe, Verteiler etc.) und vor allem zu befestigten Bauwerken zur Ableitung aus dem Wadi. Der aus praktischen Erfahrungen akkumulierte technologisch-wasserbauliche Wissensstand ermöglichte Bauwerke, die durch ihre Konzeption und bauliche Gestaltung den erheblichen Hochwasserspitzen widerstehen konnten. Die prinzipiellen Möglichkeiten einer Wasserentnahme aus dem Wadi sind in der Abb. 7 schematisch dargestellt.

⁵² vgl. E. Jungfer, GR 39, 1987, 408.

Bei einer Lösung nach dem Bühnenprinzip wurden quer zur Fließrichtung Dämme von der zu bewässernden Oase bis in den Bereich des Stromstriches des Wadis, also etwa bis zur tiefsten Stelle des Abflußprofils, gebaut, um die Wasserführung zu konzentrieren. Am Kopf- oder Fußende dieser Bühnen wurde dann das eigentliche Ableitungsbauwerk in Form eines (oder mehrerer) massiven, aus großen behauenen Steinquadern bestehenden Wehres gebaut, von dem ein unterhalb des Dammes zu den Bewässerungsflächen führender Kanal abzweigte⁵³.

Bei einer Anlage des Entnahmebauwerks am Bühnenfuß, also im Anbindungsbereich am Wadiufer (s. Abb. 7, Version A 1), konnte auf eine Führung des Hauptkanals durch das Wadibett verzichtet werden, allerdings war dabei ein Bewässerungsbetrieb zu Niedrigwasserperioden wohl ausgeschlossen. Die bei dieser Möglichkeit erforderliche Schöpfbühne hätte bei großen Ableitungsbauwerken in Verbindung mit ungünstigen topographischen Verhältnissen eine erhebliche Länge besitzen müssen. Bei den Gefällebedingungen im Wādī Dana wären Bühnen notwendig gewesen, die sich evtl. über mehrere Kilometer im Wadi erstreckt hätten.

Die Lage des Entnahmebauwerks am Bühnenkopf im Bereich des Stromstriches (s. Abb. 7, Version A 2) stellte sicher, daß das zeitlich unterschiedliche Wasserdargebot und damit auch eine Niedrigwassersituation im Wadi für die Bewässerung erschöpfend ausgenutzt werden konnte. Durch diese Baukonzeption wurde auch die Problematik des Hochwasserschutzes nicht unmittelbar relevant, da der jenseits der Bühne gelegene Teil des Wadiquerschnittes für eine schadloße Hochwasserabführung sorgte. Es ist dabei nicht notwendig, den Hauptkanal mit einer relativ starken Krümmung zum Ufer zu führen⁵⁴. Vielmehr konnte der Kanal unter Ausnutzung der natürlichen Höhenverhältnisse aus dem Bereich des Stromstriches in Wadimitte zum Ufer und zu den Bewässerungsflächen geleitet werden. Eine nahezu ideale Kombination unter weitgehender Vermeidung negativer Auswirkungen stellt die Anordnung am Prallufer von Wadikurven dar. Gerade bei dieser Anordnung, die bei den Bauwerken in Mārib mehrfach anzutreffen ist, ist die Strecke zwischen Entnahmebauwerk und Wadiufer relativ kurz.

Eine weitere Konzentration der Abflüsse war durch eine geringe, künstliche Sohlerhöhung im Stromstrich (s. Abb. 7, Version A 3) möglich, so daß auch Niedrigwasserabflüsse bereits entnommen werden konnten.

Da die sedimentationsbedingt wachsende Oasenhöhe mehrfach die Erhöhung der Ableitungseinrichtungen erforderte, wurde eine Konzeption notwendig, die bei Ausnutzung der topographischen Verhältnisse eine Absperrung des gesamten Wadiquerschnittes sowie miteinander korrespondierende Wehre zur Abflußableitung auf verschiedene Bewässerungsflächen (z. B. Nordoase und Südoase) vorsah. Diese vollständige Absperrung erforderte allerdings eine ausreichend dimensionierte Hochwasserentlastung, um die Sicherheit der wasserbaulichen Anlagen zu gewährleisten.

Dabei sind zwei Prinzipien zu unterscheiden:

– **Natürliche Hochwasserentlastung**

Lage- und höhenmäßig günstig gelegene Lavarücken oder Kalksteinformationen werden von den abzuführenden Hochwasserspitzen überströmt (s. Abb. 7, Version B 1),

53 Auch heute ist es üblich, den Ableitungsgraben von der Mitte des Wadibettes zu den am Ufer gelegenen Feldern zu führen. Durch geschickte Anordnung an Wadikurven können auch größere Wassermengen abgeleitet werden. Vgl. dazu ebd., Abb. 2. Zur Verdeutlichung können die Fotografien eines Ablenkdammes und eines wadiparallelen Kanals (mit geringerem Gefälle als das Wadi) beitragen, die enthalten

sind in: H.A. Escher, Wirtschafts- und sozialgeographische Untersuchungen in der Wadi Mawr Region, Arabische Republik Jemen (1976)

54 Dieses Argument führt Herberg als wesentlichen Kritikpunkt am Bühnenprinzip auf. Vgl. W. Herberg, Vorläufiger Bericht über baugeschichtliche Untersuchungen der Bauanlage A im Wādī Dana, 119. ABADY IV (1988)

A. BUHNENPRINZIP	
	1. SCHÖPFBUHNE - Entnahmebauwerk im Uferbereich (am Buhnenfuß) - Buhne bis an den Stromstrich
	2. BUHNENPRINZIP - Entnahmebauwerk im Bereich des Stromstriches am Buhnenkopf Schnitt A-A
	3. MODIFIZIERTES BUHNENPRINZIP - Künstliche Sohlerrhöhung am Stromstrich zur Konzentration der Niedrigwasserabflüsse - übrige Merkmale wie A.2 Schnitt A-A
B. TALABSPERRUNG	
	1. VOLLABSPERRUNG MIT NATÜRLICHER HOCHWASSERENTLASTUNG - Absperzung des gesamten Wadiquerschnittes - Möglichkeit zum Anstau - Schadloser Abfluß der Hochwasserspitzen wird durch die Topographie an einem Ufer ermöglicht Schnitt A-A'-A''
	2. VOLLABSPERRUNG MIT KÜNSTLICHER HOCHWASSERENTLASTUNG - Integration einer künstlichen Hochwasserentlastung ist wegen ungünstiger Topographie notwendig - übrige Merkmale wie B.1 Schnitt A-A'-A''

Abb. 7 Möglichkeiten der Wasserfassung und -ableitung.

– Künstliche Hochwasserentlastung

Ein befestigter Durchlaß mit massiver Sohlschwelle und begrenzenden Aufbauten dient der Ableitung der Hochwasserspitzen (s. Abb. 7, Version B 2). Es ist allerdings zu beachten, daß als Vermischung der Grundprinzipien Hochwasserentlastungen vorstellbar sind⁵⁵, die den natürlichen Felsuntergrund als Sohlschwelle und künstliche Aufbauten miteinander kombinierten.

Auf die Aufsedimentierung der Oasen und die damit notwendig werdende Erhöhung des Bewässerungsniveaus wurde während der letzten Perioden nicht mehr mit der weiteren Verlegung der Ableitungsanlagen stromaufwärts, sondern lediglich mit einer Erhöhung des Stauspiegels durch ausschließliche Aufstockung der Elemente der Absperranlage reagiert. Diese Aufstockung erreichte schließlich jene endgültigen und eindrucksvollen Dimensionen, die noch heute sichtbar sind. Es sei in diesem Zusammenhang im Gegensatz zu vielen Interpretationen in der Literatur festgestellt, daß es sich in Märib nicht um Absperrbauwerke mit Speicherfunktion handelt, sondern daß der ausschließliche Zweck dieser Anlagen die Erhöhung des nutzbaren Wasserspiegels war. Die jeweiligen Veränderungen an den Ableitungsanlagen sind auch in den Bewässerungssedimenten deutlich erkennbar. Mit den Um- bzw. Neubauten gingen Veränderungen der Topographie des zugehörigen Stauraums einher, so daß die Zusammensetzung der Korngrößenfraktionen in den Bewässerungssedimenten verändert wurde. In den Oasensedimenten sind die Entwicklungsperioden als ausgeprägte Bänke zu unterscheiden. Auch die Veränderungen an den Verteilungsanlagen auf den Oasen sind in Form kleinerer Sedimentpakete erkennbar.

2.2.2 Entwicklungsperioden der Bewässerungskultur

Die Überreste der Ableitungsbauwerke im Wādī Dana dokumentieren die sechs großen, im gesamten Funktionssystem erkennbaren Perioden der Bewässerungskultur Märib am deutlichsten. Die Bauwerke und Bauwerksüberreste sind entweder dem Funktionssystem Nordoase (N) oder dem System Südoase (S) zuzurechnen. Nach den Untersuchungen an diesen Ableitungsbauwerken kann man für die Bereiche der beiden Oasen sechs gegeneinander zeitlich und räumlich abgrenzbare Perioden mit zeitlich unterschiedlichen Intervallen definieren⁵⁶ (S. Tafel 1):

Periode VI: Bewässerung

- großer Teile der Südoase mit dem Ableitungsbauwerk S6 nach dem Bühnenprinzip,
- peripherer Bereiche am Südrand der Nordoase mit einem bislang unbekannten Bauwerk nach dem Bühnenprinzip.

Periode V: Bewässerung

- der Südoase mit dem Bauwerk S5,
- großer Bereiche der Nordoase mit dem Bauwerk N4.

Periode IV: Bewässerung

- der Südoase mit dem Bauwerk S4, welches nur mit Hilfe einer Vollabsperzung des Wadis die funktionellen Anforderungen erfüllen konnte,
- der Nordoase mit einem hypothetischen Bauwerk N3', dessen Standort durch Untersuchungen von Sedimentprofilen eingegrenzt wurde.

55 Eine derartige Anlage wäre z. B. bei der postulierten Ableitungsanlage N2 vorhanden gewesen.

56 Um die Beschreibung aller Zusammenhänge auf der

Grundlage der definierten Betriebsperioden zu erleichtern, müssen an dieser Stelle bereits wesentliche Ergebnisse auszugeweiht vorgestellt werden.

Periode III: Bewässerung

- mit Hilfe einer Vollabspernung am Austritt des Wādī Dana aus dem Kalkgebirge mit betrieblich und funktionell korrespondierenden Ableitungsbauwerken,
- mit S3 für die Bewässerung der Südoase,
- mit N3 für die Versorgung der Nordoase. Dieses Bauwerk ist durch Überreste der wegführenden Hauptkanäle räumlich und höhenmäßig eingegrenzt worden.

Periode II: Bewässerung

- mit Hilfe einer Vollabspernung,
- der Südoase mit dem Bauwerk S2, das in den unteren Teilen des Südbaus noch erhalten ist,
- der Nordoase mit dem Bauwerk N2, welches durch die Auswertung von Kanalresten und durch Abarbeitungen im anstehenden Kalkgestein beschrieben wird.

Periode I: Bewässerung

- mit Hilfe einer Vollabspernung durch den heute in Resten erhaltenen, gestickten Erd-
damm,
- der Südoase mit dem erhaltenen Südbau S1,
- der Nordoase mit dem erhaltenen Nordbau N1,
- des nördlichen Teiles der Nordoase mit der Anlage „al-Mabnā“ im Wādī Ġufaina, die im Verlauf der Periode I die Versorgung dieses Oasenteiles übernahm.

Die Bewässerung durch den Südbau S1 und den anschließenden Hauptkanal zur Südoase wurde während der Periode I eingestellt. Der Auslaß im Südbau wurde später wieder geöffnet, das Wasser wurde allerdings direkt in das Wadi abgeleitet. Mit Hilfe dieser Varianten können innerhalb der Periode I mehrere Betriebsphasen mit unterschiedlichen Bauwerkskonstellationen definiert werden. Es gilt als sicher, daß auch auf der Südoase die Bewässerung mit separaten Systemen vorgenommen wurde, die zum einen vom Südbau S1, zum anderen von einer noch unbekannten Anlage gegenüber der Stadt Märib ausgingen⁵⁷.

2.3 BAUTECHNIK IM WANDEL DER KULTUR

Bei der großen Gesamtdauer der Bewässerungskultur in Märib liegt es nahe, daß nicht nur die Funktion der technischen Anlagen stetig verbessert wurde, sondern auch die Auswahl der Materialien und die Bautechniken einem Wandel unterworfen waren. Auf den ersten Blick sind dabei zwei Grundtypen erkennbar und bei sämtlichen Arten von Bauwerken festzustellen: in Mauerwerk ausgeführte Bauten und geschüttete Elemente mit einem Putzüberzug.

Während auf den Oasen aufgrund der antiken Sedimentationsvorgänge i.d.R. nur die jüngsten Bauwerke für eine Betrachtung zur Verfügung stehen, können bei den Ableitungsanlagen mit ihrer exponierten Stellung und ihrer massiven Ausführung mehrere Generationen untersucht werden.

Bei der Betrachtung des Baumaterials der Schwergewichtsmauern muß zwischen der Verwendung von jeweils neuen Quadern in primärer Verwendung und der Nutzung von Spolien, d. h. von Steinen in sekundärer Verwendung unterschieden werden. Quader, die aus jurassischen Kalken der Amran-Formation wohl aus dem naheliegenden Gebirge Ġabal Balaq al-Awsaṭ ursprünglich für die Wasserbauwerke angefertigt wurden, können bei den ältesten Anlagen (N4, N5, S6/5) angetroffen werden. Vor

⁵⁷ Diese Beobachtung von 2 Netzen machte als erster Brunner. Vgl. Brunner, Erforschung, 69.



Abb. 8. Beispiel eines Baukörpers mit kammerartigen Hohlräumen (Teilelement Pfeiler 3 der Anlage N4 – Bau A).

allen N5 (Bau C) eignet sich aufgrund großer, noch erhaltener Mauerzüge gut für bautechnische Untersuchungen⁵⁸. Bei den anderen Anlagen sind aufgrund natürlicher Zerstörungen (Hochwasser) und Abtragung zur Wiederverwendung jeweils nur kleinere Partien erhalten.

Die Mauerschichten besitzen eine einheitliche Blockhöhe und wurden von den Außenseiten beginnend trocken angelegt. Auf diese Weise konnte die auf allen Außenseiten eines Baukörpers vorhandene Abtreppung genau eingehalten werden. Die Steine wurden vorher nur an der Unterseite (Auflage) und der jeweils anliegenden Querseite genau geglättet⁵⁹, die beiden übrigen Kanten wurden erst in

58 Eine detaillierte Beschreibung der Arbeitsvorgänge enthält: G.R.H. Wright, *Some Preliminary Observations on the Masonry Work at Märib*, 65 ff. ABADY IV (1988)

Eine erste Betrachtung der sabäischen Steinbearbeitung, vor allem hinsichtlich des Tempels Mahram Bil-

qis, enthält: G.W. van Beek, *Marginally drafted, pecked Masonry*, in Albright – Bowen, *Discoveries*, 59. Dieses Detail kann allerdings nicht als „Anathyrosis“ bezeichnet werden, da keine vertiefte Mittelfläche festzustellen ist. Vgl. ebd., 292.

situ begründet. Bei dieser Vorgehensweise war allerdings die Anfertigung eines Schlußsteines notwendig. Auch die Gestaltung der Front erfolgte erst in situ, meist nach Fertigstellung mehrerer Blockschichten. Diese Schauseite besitzt als Endergebnis einen geglätteten Rand und ein roh zugerichtetes Mittelfeld. Es sind dabei erhabene Bossen und angeraute ebene Oberflächen (Scheibossen) zu unterscheiden. Seltener und wohl als älteste Ausführung anzusprechen sind sehr sorgfältig bearbeitete, völlig geglättete Frontseiten. Die nicht sichtbaren Seiten blieben stets unbearbeitet, auch im Inneren eines Baukörpers befindliche Quader weisen daher allseits nur grob behauene Oberflächen auf. Es ist möglich, die verschiedenen Bearbeitungsformen hinsichtlich ihres zeitlichen Auftretens zu untersuchen und die Bauwerke bzw. Bauelemente einzuordnen⁶⁰.

Für die meisten der Bauten stellen doppelte Mauerschalen und eine bemerkenswerte innere Struktur charakteristische Elemente dar (s. Abb. 8). Diese parallelen Trockenmauern sind in Läufer-Binder-Anordnung erstellt und mit einer dünnen Schicht Gesteinsschutt hinterfüllt. Eine diesen doppelten Schalen in ihrer inneren Struktur völlig gleichartige Mauertechnik ist beispielsweise aus Ägypten aus dem Neuen Reich (1540–1075 v. Chr.) bekannt⁶¹.

Die langgestreckten Baukörper sind durch versteifende Mauern untergliedert, die in die Außenwände eingebunden sind. Die dadurch entstandenen kammerartigen Hohlräume sind mit Geröll-/Schuttmaterial angefüllt. Es handelt sich bei sämtlichen Mauern um reine Trockenmauern, d. h. Mörtel ist im Inneren der Mauerkörper an keiner Stelle vorhanden⁶². Die Verwendung von Mörtel kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden, da dieses Material erst relativ spät in der gesamten Kulturzeit von Märib eingeführt wurde⁶³.

Die einzelnen Mauern bestehen wie o.a. aus zwei parallelen Schalen⁶⁴. Dieses bautechnische Merkmal ist bei zahlreichen sabäischen Bauten festzustellen⁶⁵. Die Baukörper erinnern in ihrem Gesamtaufbau dem von Vitruv beschriebenen griechischen εμπλεκτον⁶⁶. Danach besteht eine Mauer aus zwei äußeren Schalen mit einem inneren Kern, die Schalen sind mit durchlaufenden Bindern (διατοινοι) verknüpft. Diese Grundidee scheint in Märib in zweifacher Hinsicht verwirklicht und weiterentwickelt: in der doppelten Schale und in dem (größer dimensionierten) inneren Kern. Im Gegensatz zu der Stadtmauer von Märib, die prinzipiell als verblendeter Lehmziegelwall anzusehen ist⁶⁷, wurden die großen Wasserbauwerke durch geschickt angeordnete Schwergewichtsmauern mit gefüllten Hohlräumen gebildet⁶⁸. In Bezug auf diese Baukörper von Fachwerk oder einer „Kasemattenversteifung“⁶⁹ zu sprechen, trifft die Hauptsache nicht deutlich genug.

60 Einen entsprechenden Datierungsansatz enthält: W. Herberg, Baukomplex B im Wādī Dana, 33 ff. ABADY III (1987)

61 vgl. J.C. Golvin – J.C. Goyon, Karnak, Ägypten. Anatomie eines Tempels (1990)

62 In diesem Punkt muß Wright widersprochen werden, der in dem Mauerkern Mörtel erkennt. Vgl. Wright, Observations, 73 ff.; G.R.H. Wright, Masonry Construction at Marib and the „Interwoven Structure“ (Emplecton) of Vitruvius, 79 ff. ABADY IV (1988). Lediglich an einer sehr spät vorgenommenen Erhöhung des Südbaus ist zu beobachten, daß einige Quader in Gußmörtel verlegt wurden. Vgl. J. Schmidt, Baugeschichtliche Untersuchungen an den Bauanlagen des großen Damms von Märib, 55. ABADY I (1982)

63 Als einen dem Mörtel in Märib vergleichbaren Baustoff beschreibt Vitruv ein Gemisch aus Kalk, Bruchstein und Puzzolanerde, welches für Wasserbauwerke besonders geeignet ist, da es unter Wasser fest wird.

Vgl. Vitruvius, De architectura libri decem, liber secundus, Kap. VI, Satz 4, (1976)

64 Die innere Mauerschale wird oftmals als ältere Baustufe interpretiert.

65 Einige Beispiele enthält: C. Rathjens – H. v. Wissmann, Vorislamische Altertümer (1932) 71.

66 vgl. Vitruvius: architectura, a. O., liber II, Kap. VIII, Satz 7.

67 vgl. B. Finster, Die Stadtmauer von Märib, 74. ABADY III (1986)

68 Mehrere technisch ähnliche Gewichtsstau Mauern sind im jemenitischen Hochland noch erhalten. Sie bestehen aus z. T. mehreren Mauerzügen mit Bruchstein-kernen, wurden aber leider zeitlich bisher noch nicht eingeordnet. Vgl. H. Siewert, Bauten der Wasserwirtschaft im Yemen, BaM 10, 1979, 168 ff.

69 H. v. Wissmann, Das Großreich der Sabäer bis zu seinem Ende im frühen 4. Jh. v. Chr. (1982) 188 Abb. 40.

Bei jüngeren Ableitungsbauwerken, d. h. bei dem Nordbau N1 und dem Südbau S1/2, sind ausschließlich Spolien verwendet worden. Dabei fallen hinsichtlich Bautechnik und -material differierende Partien auf. Der Ansicht⁷⁰, daß dort die älteren Teile stets aus einem qualitativ besseren, einheitlichen Material gefertigt wurden, kann allerdings nur begrenzt gefolgt werden, obwohl gewisse Unterschiede aufgrund der Herkunft der Spolien naheliegen. Wright führt an, daß die Steine für die älteren Ableitungsbauwerke bereits im Steinbruch im Hinblick auf die wassertechnische Verwendung sorgfältig ausgewählt worden waren, während seinerzeit bei Steinen für andere Bauwerke (nichttechnische Bauten: Tempel(?), Stadtmauer, Häuser) kein besonderes Augenmerk auf die Qualität gelegt worden sei. Da in den Betriebsperioden I und II ausschließlich Spolien Verwendung fanden, müssen die unterschiedlichen Qualitäten stets vermischt anzutreffen sein. In den letzten Betriebsphasen führte dies und evtl. eine weniger sorgfältige Mauertechnik dazu, daß die Mauern zur hydraulischen Abdichtung nur an den Fugen oder großflächig verputzt werden mußten. Mörtel wurde grundsätzlich nur zur Abdichtung verwendet und übte niemals eine statische Funktion aus⁷¹.

Bei alledem ist zu beachten, daß die abweichenden älteren Teile des Südbaus (S2) aus der Periode II vermutlich überwiegend oder sogar ausschließlich aus vorhergehenden Wasserbauten, von denen in ausreichendem Umfang Material zur Verfügung stand, errichtet worden sind. Gerade diese von Wright als besser bezeichneten Steine erforderten in besonderem Umfang eine nachträgliche Fugenabdichtung.

Es ist daher naheliegend, den Begriff „**Schalenmauer mit Hinterfüllung**“ zu verwenden. Für den unterschiedlichen optischen Eindruck sind weniger Materialdifferenzen verantwortlich, sondern vielmehr z. T. wesentliche Veränderungen in der Mauertechnik. Bei Nordbau und Südbau sind jeweils zwei Bauabschnitte erkennbar: ein unterer Abschnitt aus Quadern relativ großer Dimensionen und einer unregelmäßigen Läufer-Binder-Anordnung und ein oberer Abschnitt mit einem nahezu regelmäßigen Verband der Kalksteinquader. Den verschiedenen Phasen gemeinsam ist die große Zahl der Binder, die durch ihre Ankerwirkung den Zusammenhalt von Mauerwerk und Füllung verbesserten. Außerdem ist eine gleichmäßigere Druckverteilung zu erwarten.

Auffällig ist das Hervortreten der Binder an manchen Mauerflächen („**Affenkopfbinder**“⁷²). Der Begriff wurde wohl zuerst verwendet bezüglich der antiken Bauten in Aksum/Äthiopien. Im Hinblick auf die antiken Beziehungen zwischen Märüb und Äthiopien können hier noch interessante Forschungsergebnisse erwartet werden.

Diese speziellen Binder können jedoch keinesfalls als Datierungskriterium dienen. Das Phänomen ist an mehreren Baukörpern festzustellen: u. a. an der gesamten Nordseite des Nordbaus, der Nordseite des Südbaus und der Land-(Ost-)seite der Überfallschwelle im Südbau⁷³. Es fällt übereinstimmend auf, daß bei den genannten Bauten zwar Land- und Wasserseite einen gleichartigen Mauerverband aufweisen, aber nur die jeweilige Landseite die charakteristischen vortretenden Binder besitzt. Sicher ist der Grund darin zu sehen, daß dieses offensichtlich über einen längeren Zeitraum verwendete Detail wegen der ungünstigen hydraulischen Folgen (Turbulenzen, Wirbelablösungen) nicht auf der Wasserseite eingesetzt wurde. Bei einigen Bauten sind diese Binder durch seitliche Abarbeitung der verwendeten Spolien an ihrem Kopfende so verdickt, daß sie im Schnitt einem Nagel ähnlich sind.

70 vgl. Wright, Observations, 72.

71 Es ist auch heute noch unüblich, einem wasserundurchlässigen Beton gleichzeitig eine tragende Funktion zuzuweisen. Vgl. H.-O. Lamprecht, *Opus caementitium* (1985) 45.

72 Schmidt, Untersuchungen, 12.

73 vgl. dazu ABADY I, Taf. 6d. 9a. 10a.

Dadurch wird die Verbindung der gesamten Mauerschale mit dem Kern verbessert. Es ist daher nicht verwunderlich, daß dieses Detail gerade und ausschließlich bei den überströmten Teilen (Hochwasserentlastung AN1 Nordbau, Überfallschwelle AS1 Südbau) anzutreffen ist⁷⁴.

Außer dem beschriebenen kammerartigen Aufbau mit doppelten Schalen sind an den Schwergewichtsmauern von Nord- und Südbau auch andere Mauertechniken zu beobachten. Eine Mauerpartie an der Tosbeckenbegrenzung des Nordbaus, deren Außenschale bereits zerstört ist, ermöglicht gute Einblicke in den inneren Aufbau der Baukörper⁷⁵. Offensichtlich ist bei den jüngsten Bauten von der Technik der doppelt gemauerten Schalen abgegangen worden. Es ist nur noch eine einzige Mauerschale erkennbar, so daß den in das Bauwerksinnere reichenden Bindern eine größere Bedeutung zukommt. Auch diese Baukörper stellen trocken errichtete Schwergewichtsmauern dar, sie enthalten keinen Mörtel im Inneren⁷⁶. Das Schüttgut im Kern ist i.d.R. in feinkörniges, dem Bewässerungssediment ähnelndes Material eingebettet; zur Entstehungsgeschichte ist vorstellbar, daß das Material beim Bau der Anlage planmäßig eingeschlämmt wurde – wofür statische Gesichtspunkte sprechen – oder erst bei dem Bewässerungsbetrieb eingetragen wurde – dafür spricht die z. T. erhaltene feine Schichtung des Materials. Der oftmals gute Erhaltungszustand des aufgefüllten inneren Mauerkörpers ist darin begründet, daß in den wenigen Jahren seit Entfernen der Mauerschale die erosiven Kräfte noch nicht wirksam werden konnten, zumal die Mauerdecke durch einen Putzüberzug geschützt ist. Mauerwerk mit einem vergleichbaren äußeren Eindruck ist aus dem gesamten südarabischen Raum bekannt. Als Beispiel werden nur die Reste qatabanischer Bewässerungsbauten genannt, die wegen des sehr stark verwandten Baustils in zukünftige Vergleiche einbezogen werden sollten⁷⁷.

Neben der Technik des Schalenmauerwerks mit Hinterfüllung sind in Märib zahlreiche Bewässerungsbauwerke zu finden, die aus geschüttetem Material mit einem Putzüberzug bestehen. Der Bauwerkskörper wurde aus Lavabrustücken, seltener auch Kalksteinbruchstücken oder älteren Bauwerksresten (Quader, Putzreste), erstellt und seitlich sowie an der Oberfläche mit Mörtel verkleidet. Durch den Mörtel wurde der Zusammenhalt und die Wasserdichtigkeit gewährleistet, das Innere enthält keinen Mörtel⁷⁸. Die Bautechnik bedingte allerdings, daß nach jeweils maximal 2 m eine neue Schicht aufgetragen werden mußte. Diese zwangsläufige Schichtung einiger erhaltener Bauwerke erweckt den Eindruck von Aufstockungsvorgängen. Scheinbar entspricht die Technik dem im Jemen heute noch üblichen, schichtweisen Erstellen einer Mauer aus Stampflehm. Ein Gleichsetzen der antiken Technik mit der heutigen Bauweise⁷⁹ muß wegen grundsätzlicher Unterschiede abgelehnt werden: Die Schichten der heutigen Lehmbauweise stellen vor allem ein Zeugnis der Arbeitsabläufe dar (1 Tagwerk), während in der Antike ausschließlich statische Gründe (bei höheren Mauern z. B. al-Mabnā) oder die Notwendigkeit der Bauwerkserhöhung ausschlaggebend waren. Völlig verschieden sind auch die Schichten im inneren Aufbau: kompaktes Lehmmaterial heute gegenüber einem geschütteten Kern mit wasserundurchlässigem Überzug in der Antike. Als Gemeinsamkeit ist anzusehen, daß bei beiden Techniken die bereits fertigen Schichten als Arbeitsplattform bei den weiteren Arbeiten dienen, da die

74 Es ist nicht zutreffend, daß sämtliche Binder in dieser relativ aufwendigen Art bearbeitet sind. Vgl. Wright, *Construction*, 75.

75 vgl. ABADY I, Taf. 10b.

76 vgl. Wright, *Construction*, 94ff; K. Mathieu, Beschreibung der Schleusendurchlässe am Nord- und Südbauwerk des Großen Dammes von Märib, 25, ABADY III (1987). Der von Mathieu beobachtete „helle, sehr harte Putz“ innerhalb verschiedener

Baukörper kann auf natürliche Weise durch Einwirkung von Wasser während des Betriebes entstanden sein.

77 vgl. die vermutlichen Bewässerungsanlagen im Wādi Ablah (Harib). s. ISMEO, *East and West* 36, 1986, 389.

78 vgl. dagegen Wright, *Construction*, 96.

79 vgl. Brunner, *Erforschung*, 78.

Mauern ohne Gerüste o.ä. errichtet werden. Die Übernahme des heutigen Begriffes „Habl-Technik“ ist nur bedingt möglich, da diese Bezeichnung nicht nur für Mauerschichten aus Stampflehm, sondern auch vor allem für die Schichten bei Werk- oder Bruchsteinmauern angewendet wird⁸⁰. Der Begriff hat seinen Ursprung bereits im antiken Südarabien⁸¹.

Der Mörtel ist hauptsächlich aus Kalk und Lavagrus in verschiedener Körnung zusammengesetzt. Seine Haltbarkeit hängt von dem Lavaanteil in der Mischung und von der Körnung der Lava-Einzelbestandteile ab. In der Regel sind diejenigen Bauwerke gut bis in die heutige Zeit erhalten, welche mit Mörtel aus wenig Lavagrus und/oder kleinen Lavabestandteilen versehen sind. Je grobkörniger und/oder je höher der Anteil an Lava ist, desto stärker sind die Beschädigungen der Bauwerke. Das Putzmaterial ist dem „opus caementitium“ vergleichbar⁸². Bei einer Untersuchung von Mörtelproben aus Märib wurde nachgewiesen, daß der als Bindemittel dienende Kalk aus dem nahegelegenen Ġabal Balaq stammt⁸³.

Im folgenden soll diese Technik als „**Schüttmauer mit Verputz**“ bezeichnet werden. Sie fand in der letzten Betriebsperiode weitestgehende Anwendung, da in ihr eine Beschleunigung des Bauvorgangs, die Möglichkeit der Verwendung aller Materialien und geringe Ansprüche an das technische Wissen der Bauarbeiter vereinigt waren.

Die Verwendung von Mörtel ist nur für die letzte Betriebsperiode zu erkennen. Die Tatsache, daß Mörtel bzw. römischer Beton („opus caementitium“) im römischen Reich etwa gleichzeitig zu Zwecken aller Art äußerst innovativ genutzt wurde, drängt die Frage nach der Übertragung dieser Technologie nach Märib auf. Ein derartiger Transfer ist bei Berücksichtigung der intensiven Handelsbeziehungen zwischen den Reichen leicht zu erklären. Weiterhin ist vorstellbar, daß die Initiative von Römern (Gefangenen?) ausging, die mit Aelius Gallus 24 v. Chr. bis vor die Tore von Märib gelangten, zumal diese Truppen die Wasserbauten stark beschädigten. Es ist aber auch möglich, daß die sabäischen Architekten und Ingenieure durch das natürlich anstehende Konglomeratgestein zu einer eigenständigen Innovation angeregt wurden.

Bei den großen Stau- und Ableitungsanlagen (Nordbau N1, Südbau S1) wurden Schüttmauern nur zur Erhöhung älterer Baukörper aus Schalenmauerwerk eingesetzt. Mörtel ist an den gesamten Anlagen zur nachträglichen Abdichtung der Mauern und Decken verwendet worden.

Das Zusammenwirken der verschiedenen Techniken demonstriert die Ableitungsanlage al-Mabnā im Wādī Ġufaina auf hervorragende Weise. Die funktionell besonders anspruchsvollen Auslaßbauten wurden als Schalenmauerwerk mit Hinterfüllung erstellt, die gleichzeitig angelegten Beckenmauern in der einfacheren Schütttechnik. Zum Erzielen der endgültigen Höhe waren bei diesen Mauern mehrere Schichten erforderlich.

Auch innerhalb des Bewässerungssystems der Oase sind aus dem Zeitraum vor Aufgabe der Bewässerungskultur beide Bautechniken erhalten. Während kleinere Wasserbauwerke (z. B. Feldauslässe) i. d. R. in der Schütttechnik errichtet wurden, sind bis zuletzt die Durchlässe mit größeren durchflossenen Querschnitten als Schalenmauern mit Hinterfüllung erstellt worden. In diesem Punkt muß Brunner klar widersprochen werden, der die Schüttmauer als Abschluß einer Entwicklung „von kunstvollen

80 vgl. R.B. Serjeant, *Some Irrigation Systems in Hadramawt* (1964) 43f.

81 s. die Dokumentation: ebd., Anm. 35.

82 vgl. Lamprecht, *opus caementitium*. In diesem Werk ist u. a. eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Materialqualitäten und Mischungsverhältnisse enthalten. Vergleiche zu den in Märib anzutreffenden Qualitäten sind gut möglich.

83 vgl. U. Brunner, *Münchener Beiträge zur Völkerkunde* 2, 1989, 32ff. Leider wurde versäumt, die gerade im Zusammenhang mit Wasserbauten wichtigen Daten über Wasserdichtigkeit und Druckfestigkeit zu ermitteln, um so einen Vergleich der Materialeigenschaften antiker und heutiger Baustoffe zu ermöglichen.

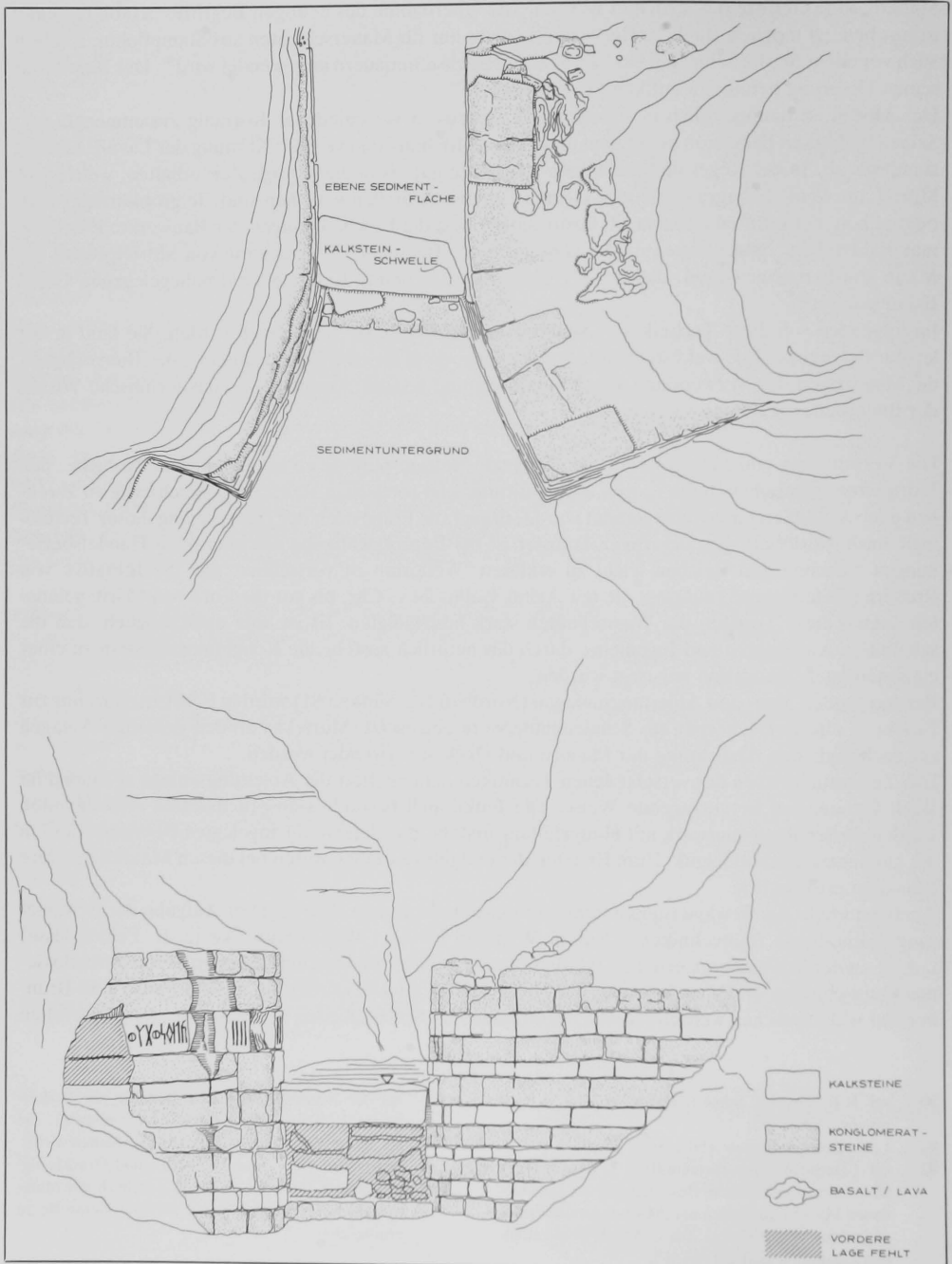


Abb. 9. Bauaufnahme eines Bewässerungsdurchlasses (bisher ältestes gefundenes Bauwerk).

Prachtbauten“ bis „zu rein funktionellen Anlagen“ versteht⁸⁴. Offensichtlich ist diese Technik in der letzten Betriebsperiode überall dort, wo es aufgrund der Bauwerksfunktionen und -dimensionen möglich erschien, genutzt worden. Zwangsläufig konnte bei größeren Durchlässen aufgrund der bautechnisch aufwendigen Integration eines Dammbalkenwehres niemals auf die ältere Mauerwerkstechnik verzichtet werden, allerdings ist dabei festzustellen, daß die Ansprüche bei der Auswahl der Baumaterialien bei den jüngsten Bauwerken stark gesunken sind.

Obwohl funktionell bei den Durchlaßbauwerken auf den Oasen über die gesamte einsehbare Kulturzeit keine Veränderungen erkennbar sind, so sind doch mehrere verschiedene Materialien zum Einsatz gekommen.

Der im Zug der Feldarbeit entdeckte, bisher älteste Durchlaß ist aus Wechsellagen von Kalkstein- und Konglomeratsteinquadern erstellt (s. Taf. 18c). Durch die verschiedenen Schichtdicken ähnelt die Bauweise stark dem „opus pseudoisidomum“. Sofort fällt bei dem Bauerk die sehr sorgfältige Bearbeitung einschl. einer größeren Inschrift (in situ) auf. Durch das DAI wurde eine Bauaufnahme dieses Bewässerungsbauwerks angefertigt (Abb. 9).

Die Verarbeitung des leicht zu bearbeitenden Konglomeratsteins wurde offensichtlich über einen längeren Zeitraum beibehalten, wie einige weitere, meist in Erosionsrinnen freigelegte Bauwerke zeigen. Teilelemente, die größeren Beanspruchungen standhalten mußten (Überfallschwellen, Führungsnuten für Dammbalkenwehre), wurden stets aus widerstandsfähigerem Kalkstein eingebaut. Größere Durchlaßwerke (z. B. im Verlauf von Hauptkanälen) wurden, wie an einem Beispiel gezeigt werden kann, aus neuen Kalksteinquadern errichtet.

Erst in der vorletzten bzw. letzten Betriebsperiode ist festzustellen, daß Bauwerke vollständig aus Spolien gebaut wurden. Mit der Einführung des Mörtels wurde die o. a. Technik der Schüttmauer mit Verputz vor allem für die kleineren Funktionselemente, aber auch bei Umbauten (Erhöhungen, Erweiterungen) angewandt. Allerdings wurde in den letzten Betriebsjahren die Qualität der verwendeten Putzmischungen deutlich schlechter, auch die Verarbeitung ließ immer mehr zu wünschen übrig. Die zeitliche Einordnung von Mörtelteilen ist nur begrenzt möglich, da offensichtlich qualitativ gute Mischungen ohne nennenswerte Verwitterungs- oder Zerfallserscheinungen überdauern können⁸⁵.

Es bleibt festzustellen, daß ein deutlicher Wandel an dem äußeren Bild der Bewässerungsanlagen festgestellt werden kann. Während der Zeiten wirtschaftlicher Blüte des sabäischen Reiches wurde großer Wert auf die Auswahl des Materials und die Bauausführung gelegt. Diese Sorgfalt, die z. T. über die technischen Erfordernisse hinausging, erstreckte sich offenbar bis auf die Funktionselemente niedrigster Ordnung. Bautätigkeiten innerhalb des Bewässerungssystems sind naturgemäß zu allen Zeiten erforderlich, so daß als Folge sinkender Wirtschaftskraft und/oder aufgrund eines Mangels an qualifizierten Arbeitskräften zahlreiche Vereinfachungen im Bausektor zu erkennen sind. Neben der ausschließlichen Verarbeitung von Spolien aller Art kamen vor allem die Möglichkeiten, die sich aus der Verwendung von Mörtel ergaben, den Notwendigkeiten der sabäischen Bauherren der letzten Betriebsperiode sehr entgegen.

84 ebd., 35.

85 Diese Beobachtung ist auch typisch für den Zustand

antiker Zisternen. Vgl. Rathjens – v. Wissmann, Altertümer, 71.

3. Funktionssystem im Wādī Dana – Damm mit Nord- und Südbau

Das Stau- und Ableitungssystem „Staudamm Mārib“ ist mit umfangreichen Überresten seit der Aufgabe der Bewässerungskultur in Mārib erhalten. Die Anlage gibt im wesentlichen den Zustand der Betriebsperiode I wieder.

Die Gesamtanlage hatte die Aufgabe, das aus dem Einzugsgebiet des Wādī Dana eintreffende Wasserdargebot für die Bewässerungssysteme auf Nord- und Südoase nutzbar zu machen. Um das Wasser mit freiem Wasserspiegelgefälle auch den topographisch am ungünstigsten gelegenen Bewässerungsflächen zuleiten zu können, mußte durch eine Talabspernung der Wasserspiegel in großem Umfang erhöht werden. Neben der Funktion der Bereitstellung des notwendigen Wassers mußten mit Hilfe der Bauwerke die Kulturlächen und Bauwerke vor den Auswirkungen von Hochwasserereignissen geschützt werden.

Die wichtigsten Funktionselemente dieses **Stau- und Ableitungssystems** sind in der Abb. 10 dargestellt:

- der **Nordbau (AN)** mit
 - den Betriebsauslässen für die Bewässerung der Nordoase über den Hauptzuleitungskanal und das Hauptverteilerbauwerk (NH),
 - der Hochwasserentlastung (Primärfunktion) mit der später möglichen Bewässerung durch die Bauanlage „al Mabnā“ im Wādī Ġufaina,
- der **Südbau (AS)** mit einem Betriebsauslaß, der neben der Versorgung der Südoase zusätzlich mit einer Ableitung in das Wādī Dana die Funktion einer Hochwasserentlastung übernehmen konnte,
- der **Absperrrdamm (AE)**.

Die Ableitungssysteme waren in eine Gesamtanlage eingebunden und so durch einen gemeinsamen Stauwasserspiegel gekennzeichnet. Die Bewässerungssysteme auf Nord- und Südoase waren damit in betrieblicher Hinsicht voneinander abhängig. Ursachen für Bauwerkserhöhungen in nur einem System (z. B. Aufsedimentierung der Nordoase) mußten immer Veränderungen an dem gesamten Stau- und Ableitungssystem nach sich ziehen. Umbauten bzw. Erhöhungen des Südbaus konnten also durchaus in der fortschreitenden Aufsedimentierung der Nordoase und der dadurch notwendigen Erhöhung des Stauwasserspiegels für die zugehörigen Betriebsauslässe begründet sein.

Die endgültige Zerstörung des Stau- und Ableitungssystems mußte zwangsläufig zur Aufgabe aller Bewässerungsanlagen führen. Dennoch ist es möglich, daß Teilbereiche der Bewässerungssysteme auf der Nord- und vor allem auf der Südoase bereits zu einem früheren Zeitpunkt aufgegeben worden waren.

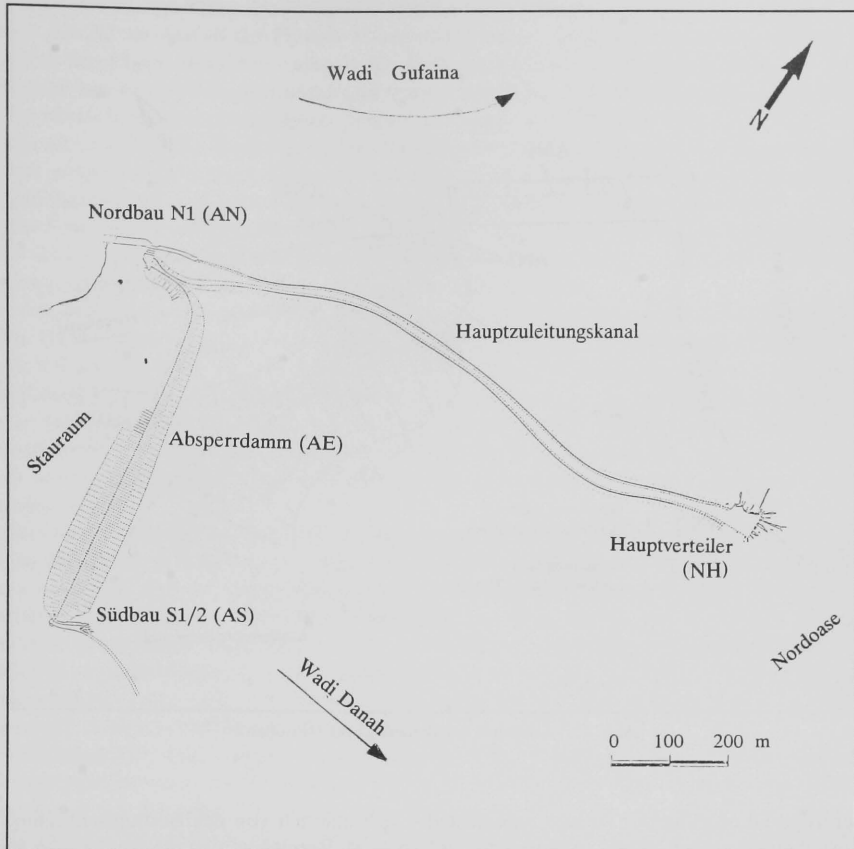


Abb. 10. Übersicht der Anlagen in Periode I.

3.1 NORDBAU N1

Eine Aufteilung der Anlage nach funktionell-technischen Gesichtspunkten, wie sie in Abb. 11 vereinfacht dargestellt ist, umfaßt die Funktionsteile, die später detailliert beschrieben werden (s. Tafeln 3a–4b):

- AN 1: Schwergewichtsabschlußmauer, später Funktionsänderung zu einer zusätzlichen Hochwasserentlastung in das Wādī Ġufaina durch Erhöhung sämtlicher anderer Funktionselemente und/oder höhenmäßigen Abtrag sowie Oberflächenbefestigung; Nutzung des Dargebots für Bewässerung im Raum Ġufaina, so daß die Funktion einem Betriebsauslaß entspricht,
- AN 2: zwei getrennt regulierbare Dammbalkenwehre als Bewässerungsauslässe (Betriebsauslässe) für die Nordoase, eventuell als weitere Hochwasserentlastung nutzbar,
- AN 3: Verbindungs- und Anschlußbauwerk zwischen AN 2 und AE (Absperrdamm) sowie AN 4 (Erddamm als südliche Tosbeckenbegrenzung),
- AN 4: Tosbecken zur hydraulischen Energieumwandlung zwischen den Betriebsauslässen und dem Hauptzuleitungskanal.

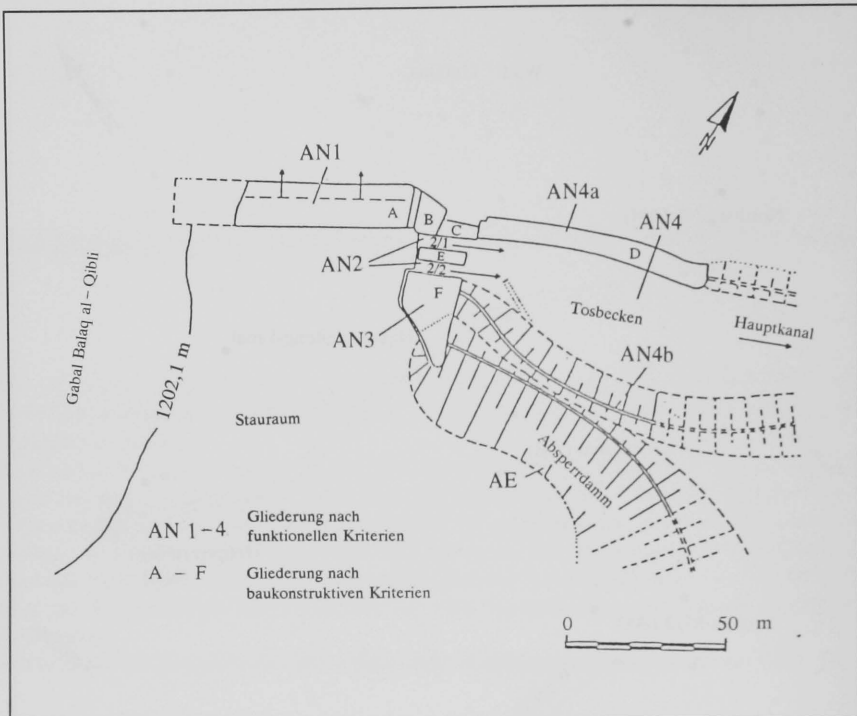


Abb. 11. Grundriß der Bauanlage N1 (Nordbau).

Eine derartige Gliederung der Anlage unterscheidet sich deutlich von der Bestandsaufnahme nach bauhistorischen Gesichtspunkten, die von Schmidt⁸⁶ vorliegt. Vergleicht man die Analyse der funktionellen Details mit den baukonstruktiven Untersuchungen, sind in Verbindung mit den definierten Betriebsperioden bestimmte Folgerungen möglich.

Der Übergang von Periode II zu Periode I kann durch eine Wasserspiegelhöhe des Funktionssystems von $h_{wsp} = 1198,40$ m ü. M. definiert werden. Die Oberkanten der dafür erforderlichen Bauwerke dürften etwa mindestens 0,50 m höher gelegen haben.

In diesem Zusammenhang ist von Interesse, daß bei dem Bauelement AN 3 zwei Bauphasen zu erkennen sind⁸⁷. Die Grenze zwischen dem unteren Bereich mit großformatigen Quadern und dem oberen mit regelmäßigem Läufer-Binder-Wechsel ist etwa bei der Höhenlage „E“ zu erkennen.

Diese Linie liegt bei 1198,37 m ü. M.⁸⁸ und ist damit identisch mit dem höhenmäßig definierten Übergang von Periode II zu Periode I. Der untere Bereich der Bauteile E und F kann also dem Ende der Periode II zugeordnet werden. Wie die in dem angrenzenden Bereich des Stauraums befindlichen Abarbeitungen zeigen, befand sich an dieser Stelle auch die Einbindung einer nördlichen Abschluß-

⁸⁶ vgl. Schmidt, Untersuchungen, 9-20.

⁸⁷ ebd., 20.

⁸⁸ ebd., Tafel 136.

mauer aus einer älteren Phase der Periode II. Ob der tiefere Bauwerksbereich des südlichen Betriebsauslasses AN 2/2 als Auslaß der Periode II anzusehen ist, ist durch weitergehende örtliche Untersuchungen zu bestätigen. Nach den vorliegenden Erkenntnissen ist in einer späten Phase von Periode II die Existenz von zwei örtlich getrennten und separat regelbaren Bewässerungsauslässen zur Nordoase möglich, nämlich bei einem maximalen Stauwasserspiegel von 1198,40 m ü.M. den eben erwähnten, durch die älteren Teile der Baukörper E und F gebildeten Auslaß sowie eine Anlage im Bereich N 2⁸⁹. Bei einer gemeinsamen Interpretation der heutigen Trassenführung des Hauptzuleitungskanals und der existierenden und vermuteten Betriebsauslässe sind Besonderheiten festzustellen:

- die in Form von deutlichen Strukturen erhaltenen Überreste älterer Hauptzuleitungskanäle sind einer Trasse von N2 zum Hauptverteilerbauwerk zuzuordnen; dieses schließt ein, daß der Hauptverteiler bereits ein Funktionselement der Periode II darstellt,
- der von den Bewässerungsauslässen AN 2 gespeiste Hauptzuleitungskanal verläuft zunächst in östlicher Richtung entlang dem Wādī Ġufaina und biegt dann nach Südosten zum Hauptverteilerbauwerk NH ab (vgl. Abb. 10). Im Bereich der beschriebenen Richtungsänderung ist im Längsschnitt des Kanals auch eine deutliche Gefälleänderung vorhanden. Im westlichen Teil des Kanals besitzt dieser ein Sohlgefälle von etwa $I = 0,8\%$, während der weitere, östliche Teil ein mittleres Gefälle von etwa $I = 5,7\%$ aufweist. Auch diese Sachlage deutet darauf hin, daß zwischen der Kurve und dem bereits bestehenden Hauptverteilerbauwerk mit einem Durchstich eine neue Verbindung angelegt wurde.

Wenn der untere Teil der Auslässe AN 2 bereits in einem späten Stadium der Periode II in Funktion stand, so ist vor allem aufgrund der beschriebenen Trassenführung des westlichen Kanalabschnitts davon auszugehen, daß der dazugehörige Hauptzuleitungskanal der Erschließung des nordöstlichen Teiles der Nordoase diente. Dabei ist anzunehmen, daß dieser Kanal dem Transport von Bewässerungswasser in entfernte, nicht in der Nähe des Hauptverteilerbauwerks liegende Flächen diente. Während der anschließenden Periode I wurde die Bewässerung der Nordoase sowohl vom Hauptverteilerbauwerk NH (west- und südwestlicher Teilbereich) als auch über das Stausystem Ġufaina (nordöstlicher und östlicher Teilbereich) durchgeführt.

Es ist wahrscheinlich, daß zumindest bereits in einem späten Stadium der Periode II die umfangreiche Ausdehnung der Bewässerungsflächen in nordöstlicher Richtung eine Aufteilung der Bewässerungsorganisation mit sich brachten. Der näher zum Ableitungsbauwerk gelegene Teil der Nordoase wurde über N2 und das Hauptverteilerbauwerk NH versorgt, während die entfernteren Teile über AN 2 und einen nicht mehr erhaltenen Hauptkanal versorgt wurden. Mit den zu Beginn der Periode I durchgeführten Bauwerkserhöhungen wurde die Verbindung von AN 2 und dem Hauptverteilerbauwerk NH über ein neues, nach Südosten abknickendes Teilstück des Hauptzuleitungskanals AN 5 hergestellt. Im Nordbau N1 sind zahlreiche Inschriftenfragmente vermauert. Aufgrund des häufigen Auftretens einer Inschrift, in der von der Ummauerung der Stadt Mārib berichtet wird, vermutet Wissmann⁹⁰ daß die durch die Heerscharen des Aelius Gallus schwer in Mitleidenschaft gezogenen Wasserbauwerke mit Steinen der (möglicherweise beschädigten) Stadtmauer instandgesetzt wurden. Unter diesem Gesichtspunkt wären die Entstehung von Nord- und Südbau oder zumindest Ausbesserungen an wesentlichen Teilen (vor allem der Mauerschalen) davon in das Jahr 24 v. Chr. zu legen.

89 vgl. Kap. 4.1.

90 Von 49 bekannten Bruckstücken mehrerer Inschriften desselben Inhaltes sind 21 im Bereich des Dam-

mes, des Nordbaus und des Hauptvertailers aufgefunden worden. Vgl. v. Wissmann, Mauer, 33.

3.1.1 Schwergewichtsabschlußmauer

Die aus Kalksteinquadern (ausschl. Spolien) im Läufer-Binder-Wechsel errichtete Schwergewichtsmauer AN 1 bindet den Nordbau an den Hang des Ġabal Balaq al-Qiblī an und schließt so den Stauraum nach Norden ab (s. Abb. 11). Die Mauer ist auf dem anstehenden Kalkfelsen gegründet, dabei sind die unteren Quader in Felsarbeiten eingefügt. Auf der Oberseite sind teilweise Mauerstrukturen erkennbar. Dabei handelt es sich z. T. um die bei der Bauweise der hinterfüllten Schalenmauern üblichen inneren Mauerzüge. Es scheint aber auch erkennbar, daß dem ursprünglichen Baukörper nördlich, also landseitig eine Verstärkungsmauer vorgesetzt ist⁹¹, so daß der mit der Mauerhöhe bzw. mit dem Anstieg des Stauwasserspiegels wachsende, horizontal wirkende Wasserdruck schadlos aufgenommen werden konnte. Ebenfalls aus statischen Gründen ist eine Schichtabtreppung zu erklären, dabei wurden die meisten der Querbinder zur Verbesserung des Mauerverbandes in nagelförmiger Weise bearbeitet. Die gesamte Mauerstärke umfaßt an der Basis etwa 13,0 m und vermindert sich in kontinuierlichen Stufen von etwa 0,25 m bis zu einer Kronenbreite von etwa 10,5 m. Auffälligerweise war eine Verbindung zu dem angrenzenden Baukörper „B“ niemals vorhanden. Eine Deutung wird dadurch erschwert, daß gerade dieser Bereich der Abschlußmauer AN1 heute relativ stark beschädigt ist. Dabei handelt es sich möglicherweise um Schäden, die bereits aus der antiken Betriebszeit stammen.

Die Mauerkrone in ihrem letzten Betriebszustand schließt in einer Höhe von 1198,3–1198,6 m ü.M. ab. Die oberen 4 Schichten auf der Wasserseite werden vollständig durch Quader in Binderanordnung gebildet. Diese ursprüngliche Gestaltung der Oberfläche ist für überströmte Bauelemente typisch und auch bei anderen Objekten zu beobachten⁹². Wohl wegen der sehr großen überströmten Fläche ist nur der stauraumseitige Rand in dieser Weise gestaltet. Aufgrund des unregelmäßigen Putzauftrages ist der innere Aufbau der Mauer deutlich erkennbar.

Auf die ursprüngliche Mauerabdeckung sind an der Stauraum-(Wasser-)Seite zwei Schichten Kalksteinspolien, ebenfalls ausschließlich quer zur Mauerflucht, aufgesetzt, deren treppenartige, an der Rückseite sehr unregelmäßige Anordnung deutlich auf eine nachträglich erfolgte Anhebung der stauwirksamen Mauerkrone hinweist. Auch an dem dazugehörigen Putzauftrag auf die bestehende, ältere Mauerkrone ist die Erhöhung, zumindest als letzter Bauvorgang, ablesbar. Die Vermutung einer „Abtragung der oberen Schichten aus wassertechnischen Gründen“⁹³ ist aufgrund der örtlichen Bauwerksinterpretation kaum nachweisbar. Oberhalb des hangseitigen Austreichpunktes der Schwergewichtsmauer sind keinerlei Hinweise für die ehemalige Existenz zusätzlicher Quaderschichten aufzufinden. Bei sämtlichen wasserbaulichen Anlagen in Mārib, die auf natürlichen Kalksteinfelsen aufgebaut sind, lassen sich sonst regelmäßige Ab- bzw. Einarbeitungen erkennen. Die vermuteten oberen Schichten im Bereich des geringsten Wasserdruckes müßten also lediglich aufgelegt gewesen sein; die landseitige Verstärkungsmauer besäße ihre Erklärung in einer frühzeitigen Erhöhung der Abschlußmauer. Die beschriebene Abtragung müßte vor der o.g. Wiederaufhöhung um zwei Steinlagen, also auch vor der Inbetriebnahme der Anlage „al-Mabnā“ im Wādī Ġufaina, erfolgt sein. Würde in eine Analyse der Betriebsabläufe eine ehemals höhere Mauer einbezogen, müßte allerdings dabei die deutlich geringere Hochwassersicherheit des Gesamtsystems beachtet werden.

An dem bergseitigen Austreibbereich des Baukörpers ist erkennbar, daß die Mauer ursprünglich

91 vgl. Schmidt, Untersuchungen, 16.

92 Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die Überfallsschwelle im Auslaß AS1 des Südbaus und die Überfallsschwelle im Auslaß A3 der Anlage al-Mabnā im Wādī Ġufaina. Interessanterweise ist eine

vergleichbare Ausgestaltung auch an Rändern antiker Zisternen im Jemen anzutreffen (vgl. Rathjens – v. Wissmann, Fotos 96, 107.)

93 vgl. Schmidt, Untersuchungen, 16.

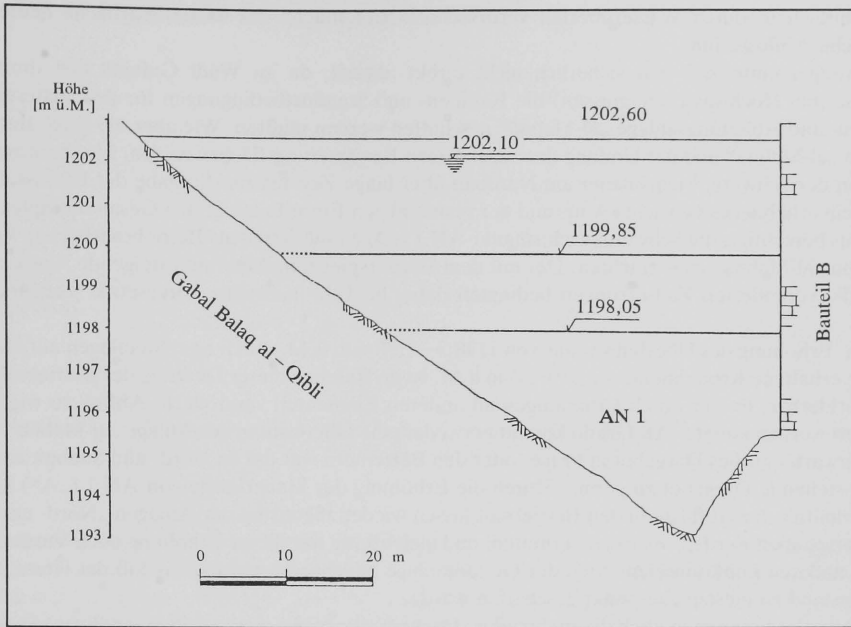


Abb. 12. Schnitt durch die Abschlußmauer AN1.

nicht mit einer waagerechten Oberfläche allmählich gegen den Berg auslief. Sie endete vielmehr bei einer Mauerhöhe von etwa 1,2 m mit einer seitlichen Wand (...) so daß sich eine Erweiterung des Überlaufs nach unten mit einem dreieckigen Querschnitt ergab. Erst bei der Erhöhung um zwei Steinlagen wurde diese Öffnung verschlossen.

Die Aufgabenänderungen der Schwergewichtsmauer innerhalb des Funktionssystems können folgendermaßen beschrieben werden. Ursprünglich diente die Mauer ausschließlich als nördliche Absperzung des Stauraums. Die Hochwassersicherheit der Gesamtanlage mußte während dieser Zeit durch die Betriebsauslässe des Nordbaus AN 1 und des Südbaus AS 1 gewährleistet werden. Möglicherweise bestand eine separate, in das Wādī Dana führende Hochwasserentlastung, diese hätte sich auf den Kalkgebirgsausläufern befunden, auf denen die nördlichen Wasserbauten errichtet sind. Die Oberkante der Schwergewichtsmauer besaß eine Höhe von etwa 1198,05 m ü.M.. Dieses Kronenniveau kann zu der aus bauhistorischer Sicht an Nord- und Südbau relevanten Linie „E“ (Höhe 1198,37 m ü.M.) als älterer, temporärer Stauhöhe in Beziehung gebracht werden, so daß die Abschlußmauer ein Funktionselement der Betriebsperiode II gewesen wäre.

Die Umgestaltung und Erhöhung der gesamten Funktionselemente des Stau- und Ableitungssystems (Nordbau, Südbau, Erddamm) führte auch bei der Schwergewichtsmauer AN 1 („A“) zu einer wesentlichen Änderung der Funktion; diese konnte nun – zunächst ohne Umbau – zwei Zielen dienen:

- Herabsetzung der Überschwemmungs- und Zerstörungswahrscheinlichkeit des Absperddammes bei Hochwasserereignissen als zusätzliche (oder ausschließliche) Hochwasserentlastung,
- Nutzung des über die Mauer abgeleiteten Abflusses

für Zwecke der landwirtschaftlichen Bewässerung auf der nördlichen und nordöstlichen Nordoase.

Die zahlreichen, durch Wasserüberfall verursachten Riefelungen der Maueroberfläche deuten auf erhebliche Abflüsse hin.

Das zweitgenannte Ziel war sicherlich nicht direkt aktuell, da im Wādī Ġufaina erst durch die Abflüsse (bei Hochwasserereignissen) die Rahmen- und Standortbedingungen für den späteren Bau der Stau- und Ableitungsanlage „al-Mabnā“ geschaffen werden mußten. Wie aber die lange Betriebszeit von „al-Mabnā“ und der Umfang der zugehörigen Bewässerungsflächen zeigen, bekam diese Teilfunktion der Schwergewichtsmauer am Nordbau über lange Zeit bis zur Aufgabe der Bewässerungskultur ein erhebliches Gewicht. Aufgrund der planmäßigen Einordnung in den Gesamtkomplex ist es durchaus berechtigt, die Schwergewichtsmauer AN 1 („A“) funktionell als Betriebsauslaß zur Versorgung von „al-Mabnā“ zu betrachten. Der mit dem Wasserspiegel im Stauraum steigende Wasserdruck sowie die veränderten Zielsetzungen bedingten dabei bald die landseitig vorgesetzte Verstärkungsmauer.

Die o.a. Erhöhung des Überfallniveaus von 1198,3–1198,6 m ü.M. durch zwei Steinlagen auf die endgültige, erhaltene Kronenhöhe von 1199,85 m ü.M. ist im Rahmen dieser Deutung der Betriebsabläufe leicht erklärbar, da der durch Erhöhungen an anderen Elementen vergrößerte Abfluß so wiederum reduziert werden konnte. Als Grund kommt entweder eine Überlastung der Anlage „al-Mabnā“ durch ein unerwartet großes Dargebot in Frage, oder den Betreibern war das an Nord- und Südbau zur Verfügung stehende Dargebot zu gering. Durch die Erhöhung der Mauerkrone von AN 1 („A“) konnte das Verhältnis der Abflüsse in den Betriebsauslässen wieder zugunsten der Anlagen „Nord- und Südbau“ verschoben werden. Es ist zu vermuten, daß gleichzeitig mit dieser Erhöhung auch Veränderungen an anderen Funktionselementen der Gesamtanlage angebracht wurden, so daß der letzte, erhaltene Zustand zu diesem Zeitpunkt geschaffen wurde.

In die Überlegungen muß auch die mehrzeilige Inschrift, die in die wasserseitige (südliche) Front der Schwergewichtsmauer AN 1 („A“) eingebaut ist, einbezogen werden. In dem Text wird u. a. die Instandsetzung eines Beckens oder einer Sperrmauer nach der Zerstörung durch ein Hochwasserereignis beschrieben⁹⁴. Die Erstellung dieser Inschrift ist mit Sicherheit in die beiden ersten Jahrzehnte des 4.Jh.n. Chr. zu datieren⁹⁵. Wenn die Schwergewichtsmauer zu dem genannten Zeitpunkt zum Zwecke der Hochwasserentlastung und als Betriebsauslaß zum Wādī Ġufaina/„al-Mabnā“ erstellt wurde, könnte sich der Bewässerungsbetrieb durch die Anlage „al-Mabnā“ auf den Zeitraum von max. 320 Jahren bis zur Aufgabe der landwirtschaftlichen Bewässerungskulturen erstrecken. Tatsächlich ähnelt der Wert dem für die gesamte Betriebsdauer dieser Ableitungs- und Bewässerungsanlage ermittelten Zeitraum. Dies würde dazu führen, daß keine Funktionsänderung für eine bereits länger bestehende Abschlußmauer vorliegt, sondern daß die heute erhaltene Schwergewichtsmauer bei Umbauten am Nordbau innerhalb der Betriebsperiode I erstellt worden ist. Alternativ wäre denkbar, daß die Mauer-schale einschl. der Inschrift das Produkt einer Reparatur nach einer umfangreichen Beschädigung darstellt.

Für die fehlende östliche Anbindung der Schwergewichtsmauer AN 1 („A“) an den angrenzenden Baukörper „B“ gibt es bislang noch keine plausible Erklärung. Die hier vorhandene, durchgehende Fuge kann prinzipiell nur mit unterschiedlichen Errichtungsterminen erklärt werden. Der Bauteil „B“

94 „Damarʿally Yuhabirr, der Sohn des Yāsīrum Yuha-disq, und sein Sohn Taʿran, die beiden Könige von Sabaʿ und Du-Raydān haben gebaut und fundiert und instandgesetzt und wiederhergestellt und vollendet ihr Staubecken (oder: ihre Sperrmauer) Du-Amir im Umgebungsbezirk [der Stadt Mārib] Abyan, das Staubecken (oder: die Sperrmauer), das (oder: die) schützen sollen der Stamm Sabaʿ vor der Zerstörung, welche zerstört und eingerissen hatte

jenes Staubecken (oder: jene Staumauer) Du-Amir der Regenstrom vor diesem Tag. Bei ʿAttar und Almaqah“ (es folgen weitere Anrufungen). W. W. Müller, Bemerkungen zu einigen von der Yemen-Expedition 1977 des Deutschen Archäologischen Instituts aufgenommenen Inschriften aus dem Raum Mārib und Barāqīš. A. Sabäische Inschriften, in: ABADY I (1982), S. 129–132.

95 frdl. mdl. Auskunft von W. W. Müller.

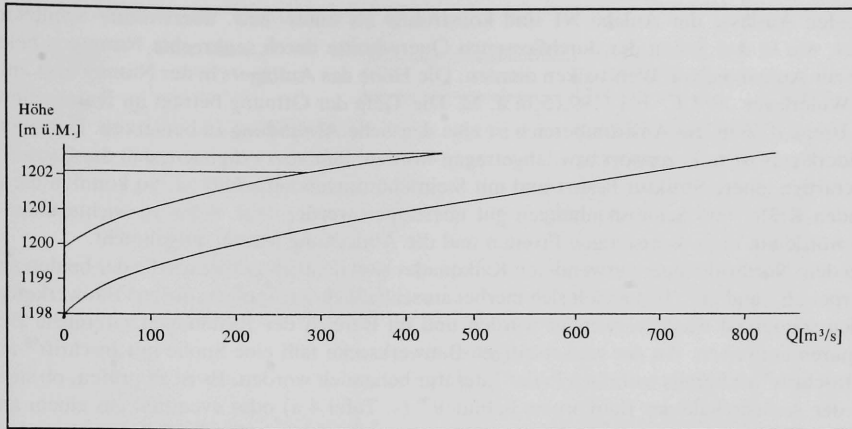


Abb. 13. Schlüsselkurve der Abschlußmauer AN1.

ist aus bauhistorischer Sicht das älteste erhaltene Element des Nordbaus⁹⁶. Die Abrundung der südwestlichen Ecke sowie die geschlossene Mauerschale mit einer Schauseite nach Westen weisen darauf hin, daß hier bereits vor Errichtung der Schwergewichtsmauer AN 1 („A“) ein weiterer Betriebsauslaß existiert hat, der einen entlang des Oasenrandes verlaufenden Hauptkanal zur Versorgung nördlicher und nordöstlicher Bewässerungsflächen speiste.

3.1.2 Auslaßbauwerk/Bewässerungsauslässe

Die Bewässerungsauslässe AN 2 entstammen, wie o.a., in ihren unteren Teilen (bis etwa 1198,40 m. ü.M.) einer späten Phase der Periode II, während die oberen Bereiche des heute noch fast vollständig vorhandenen Bauwerks in der Periode I entstanden sind. Das Auslaßbauwerk ist gegliedert in zwei getrennt regulierbare Dammbalkenwehre als Betriebsauslässe für den Hauptzuleitungskanal für die Nordoase. 3 Bauelemente (Widerlager) („B“, „C“, „E“, „F“⁹⁷) bilden die Begrenzung der Auslaßquerschnitte. Das nördliche Widerlager befindet sich in einer Flucht mit der Schwergewichtsmauer sowie der Flügelmauer „D“, die als nördliche Begrenzung des unten zu beschreibenden Tosbeckens AN4 dient. Das Auslaßbauwerk liegt relativ nah am Felsabhang und bedingt dadurch die Kurve in der Trasse des Absperrdammes. Die Auswahl des Standortes ist zum einen in der Notwendigkeit eines möglichst hoch anstehenden Felsuntergrundes zur Gründung der Anlage bedingt, zum anderen konnte so die Länge der Abschlußmauer AN 1 gering gehalten werden.

Der nördliche Baukörper teilt sich in 2 Elemente auf („B“ und „C“). Diese sind zu verschiedenen Zeitpunkten erstellt worden. Es kann vermutet werden, daß die Elemente „B“ und „C“ sowie die nachfolgende Mauer „D“ nacheinander errichtet worden sind als jeweilige Reaktion auf Schadensfälle. Die Bauwerke waren an dieser Stelle nicht nur den Belastungen durch die Strömung in Auslaß/Tosbecken ausgesetzt, sondern ihre Nordwand befand sich im Prallbereich des hier umzulenkenden Wadis Ġufaina.

96 vgl. Schmidt, Untersuchungen, 14.

97 ebd.

Die beiden Auslässe der Anlage N1 sind konstruktiv als unter- bzw. überströmte Schützenwehre gestaltet, wie in den Seiten der durchflossenen Querschnitte durch senkrechte Nutungen belegt ist, welche zur Aufnahme von Wehrbalken dienen. Die Höhe des Auflagers in der Nutung liegt am nördlichen Widerlager „B“/„C“ bei 1199,65 m ü. M. Die Tiefe der Öffnung beträgt im Durchschnitt 0,44 m, die Breite 0,56 m. Im Anströmbereich ist eine deutliche Abrundung zu bemerken. Der obere Teil des Widerlagers ist z. T. zerstört bzw. abgetragen worden, läßt aber erkennen, daß das Bauwerk eine kammerartige innere Struktur besitzt und mit Steinschüttungen aufgefüllt ist. So konnten die darauf wirkenden Kräfte und Schubspannungen gut übertragen werden (vgl. Schwergewichtsmauer „A“). Später wurde auf die wasserseitigen Fronten und die Abdeckung Mörtel aufgebracht.

Die bei dem Nordwiderlager verwendeten Kalkquader sind deutlich größer als die der beiden anderen Baukörper „E“ und „F“. Es handelt sich hierbei ausschließlich um Spolien, die aus Bauwerken älterer Perioden stammend wiederverwendet wurden und im Bereich der Rundungen zahlreiche Bearbeitungsspuren aufweisen. An der wasserseitigen Bauwerksecke fällt eine Spolie mit Inschrift⁹⁸ auf.

Diese Inschrift⁹⁹ ist bereits mehrfach in der Literatur behandelt worden. Es ist zu prüfen, ob sie sich **in situ** in der Außenschale des Baukörpers befindet¹⁰⁰ (s. Tafel 4 a) oder eventuell aus einem anderen Bauwerk älterer Perioden stammt. Bereits Glaser hat darauf hingewiesen, daß die Abrundung nur „scheinbar“ zu der Aussage berechtigt, Mauer und Inschrift seien gleich alt¹⁰¹.

Die von Wissmann¹⁰² vorgenommene Datierung der Inschrift auf 556 v. Chr. ist im Hinblick auf eine wasserwirtschaftliche Deutung des Baukörpers „B“ von Interesse. Wenn „B“ bereits seit diesem Zeitpunkt in seiner gesamten Höhe bestand, kann er mit Sicherheit in seiner originären Zweckbestimmung kein Wasserbauwerk darstellen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist davon auszugehen, daß im 6. Jh. v. Chr. bis in die Nähe der Inschrift (ca. 1199 m ü. M.) reichende Wasserspiegelniveaus im Stauraum nicht vorhanden waren. Es ist jedoch gut vorstellbar, daß der Baukörper „B“ aus ornamentalen oder fortifikatorischen Gründen hoch über die übrigen, technischen Funktionselemente einer älteren Ableitungsanlage hinausragte, welche bei Ausnutzung günstiger natürlicher Bedingungen (natürliche Felsformationen) mit einem tieferen Betriebsauslaß kombiniert war. Der Baukörper „B“ besaß dann ursprünglich keine wassertechnische Funktion, sondern wurde erst später als wasserbauliches Funktionselement in die Anlage Nordbau N1 eingebunden.

Weitere Auseinandersetzungen beschäftigten sich mit bautechnischen und epigraphischen Gesichtspunkten bezüglich der Inschrift.

Der Text scheint an der linken Seite unvollständig zu sein¹⁰³. Diese Aussage hatte vor Robin bereits Glaser gemacht. Da es sich seiner Meinung nach bei dem Inschriftstein um eine Spolie handeln müsse, besitze er „für die Chronologie des Dammes eigentlich keinen Wert“¹⁰⁴. Allerdings geht Müller davon aus, daß die Inschrift komplett ist¹⁰⁵.

Der Inhalt dieser monumentalen Herrscherinschrift spricht nach v. Wissmann¹⁰⁶ dafür, daß ihr ursprünglicher Platz in der Stadt Märib zu suchen ist. Diese Meinung äußert auch Müller¹⁰⁷.

Die Auflage der Nutzung des Steinbalkenwehres in einer Höhe von 1199,65 m ü. M. – also über der Inschrift – deutet auf entsprechenden Stauwasserstände hin. Möglicherweise weist die Nutzung auf eine Erhöhung der Anlage hin, die im Zusammenhang mit der Errichtung der Anlage N1 steht. Auf Veränderungen an „B“ weisen auch mehrere Versprünge in den Schichten hin.

98 „Karib'il Bayyin bin Yita'amar, Mukkarib von Saba', baute...“ = CIH 627.

99 Die Abbildung der Inschrift befindet sich in ABADY I (1982) Tafel 51 a.

100 vgl. Schmidt, Untersuchungen, 14.

101 vgl. Glaser, Reise, 68.

102 vgl. v. Wissmann, Großreich, 251.

103 vgl. Ch. Robin, PSAS 18, 1988, 98.

104 vgl. Glaser, Reise, 68.

105 vgl. W. W. Müller, Bemerkungen zu einigen von der Yemen-Expedition 1977 des DAI aufgenommenen Inschriften aus dem Raum Märib und Barāqīs, 129f. ABADY I (1982). Dementsprechend lautet seine Übersetzung: „Karib'il Bayyin, der Sohn des Yita'amar, Mukarrib von Saba', hat (dies) gebaut.“

106 vgl. v. Wissmann, Großreich, 251.

107 vgl. Müller, Bemerkungen, 129f.

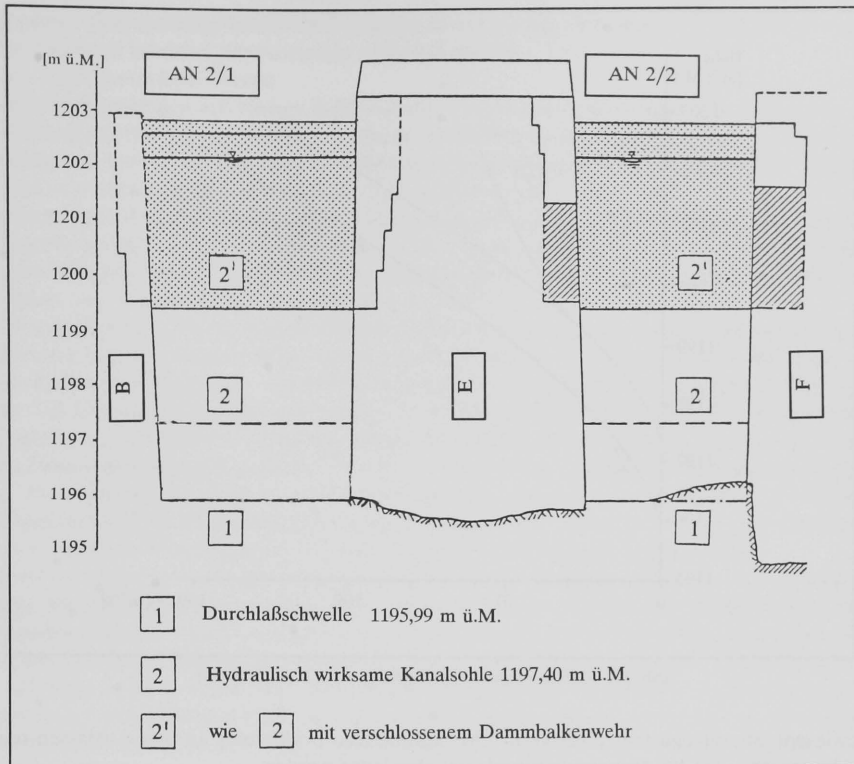


Abb. 14. Querschnitt der Auslässe AN2.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Baukörper „B“ bei einer Errichtung um 556 v. Chr. ursprünglich keine wasserwirtschaftliche Funktion besaß; er wurde später in der Anlage Nordbau N1 integriert. Der Teil der Mauer- schale, welcher die Nutung für das Dammbalkenwehr enthält, stellt einen Um- oder Neubau dar.

Das korrespondierende Gegenstück zu der Nut in Block „B“ ist in der nördlichen Wand des mittleren Widerlagers (Block „E“) enthalten. Das Auflageniveau liegt allerdings mit einer Höhe von 1199,40 m ü.M. etwa 0,25 m niedriger als das entsprechende Pendant. Folgerungen für die Funktion des Auslasses und des Wehres können daraus nicht gezogen werden.

Der Auslaß besitzt an seiner Basis eine Breite von 3,50 m, welche sich bis auf 3,85 m erweitert. Der südlichere der beiden Auslässe wird von den Baublöcken „E“ und „F“ eingegrenzt, die lichte Weite zwischen den Widerlagern vergrößert sich bei diesem Auslaß von 3,00 m an der Basis bis auf 3,50 m. Auch dieser Durchlaß besitzt korrespondierende Nutungen, die in antiker Zeit sekundär über eine Höhe von etwa 2,00 m verschlossen wurden.

Die Bauhöhen der die Durchlässe einfassenden Blöcke „B“ und „E“ erreichen ein Höhenniveau von etwa 1203,20 m ü.M., wobei das mittlere Widerlager „E“ sekundär durch eine aus Geröll geschüttete, verputzte Schicht auf 1203,80 m ü.M. erhöht worden ist. Das höchste, durch Sedimente im Stauraum

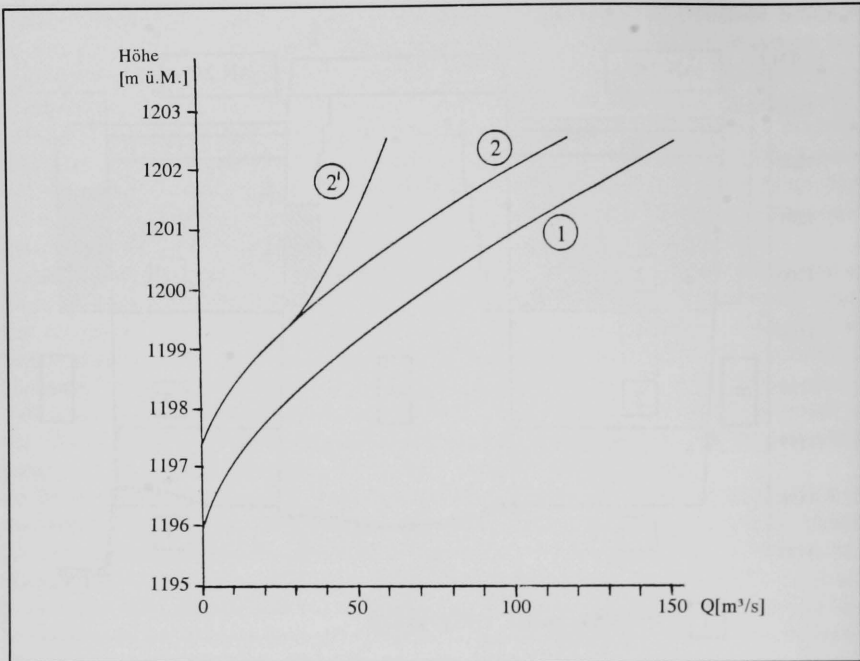


Abb. 15. Schlüsselkurven der Auslässe AN2 (vgl. Abb. 14).

nachgewiesene Stauniveau von 1202,60 m ü.M. konnte also problemlos an den Auslässen realisiert und in den anschließenden Hauptzuleitungskanal abgeleitet werden.

Sohlschwellen sind in beiden Durchlässen deutlich zu erkennen, sie besitzen eine Höhe von 1196,50 m ü.M. bzw. 1195,99 m ü.M.. Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Bauwerks mit diesem maximalen Querschnitt ist in der Schlüsselkurve (1) in Abb. 15 dargestellt. Der maximale Abfluß, der unter Berücksichtigung eines Freibordes bewältigt werden konnte, betrug etwa 145 m³/s.

Für hydraulische Berechnungen, die den Zustand des Systems zu Beginn der letzten Betriebsperiode betreffen, wird als Sohlniveau die Höhe von 1197,40 m ü.M. verwendet, welche der Sohle am Beginn des Hauptzuleitungskanals entspricht. Auch die im Tosbecken vermutete Sohlschwelle besitzt eine Höhe von 1197,40 m ü.M. (vgl. Kap. 3.1.4).

Die Nutungen in den Widerlagern dienen der Aufnahme von Dammbalken für die Regulierung der Auslaßkapazitäten. Auf diese Weise konnten verschiedene Betriebszustände erzeugt werden:

- freier Durchfluß ohne Steuerung

Dabei sind keine Wehrbalken eingelegt, so daß die maximale Kapazität des Durchlasses zur Verfügung steht.

- unterströmte Wehre

Die Möglichkeit zum Einlegen von Balken wird dabei voll ausgenutzt, so daß die Durchlässe ab einer Höhe von 1199,40 m ü.M. (=Basis der Nutungen) bis zum höchstmöglichen Wasserspiegel verschlossen sind. Unter Berücksichtigung von Form, Menge und Verteilung des zur Verfügung stehenden Dargebots ist diese Lösung sehr vorteilhaft, weil ein geringes Dargebot aus dem Ein-

zugsgebiet nicht zurückgehalten wird, sondern sofort der Bewässerung auf der Nordoase zugeführt wird. Dennoch ist dabei der maximale Abfluß begrenzt.

– unter- und überströmte Wehre

Durch das Einbringen nur einiger Balken können funktionell und kapazitätsbezogen hydraulische Zwischenzustände erzeugt werden. Auch die möglichen Kombinationen unterschiedlicher Wehrstellungen in den beiden Durchlässen sind in ihrer hydraulischen Wirkung zwischen den Kapazitätswerten von Maximal- und Minimalkapazität zu finden.

Die reduzierende Wirkung sämtlicher Steuerungsmöglichkeiten setzt grundsätzlich erst ab einem Wasserspiegelniveau von 1199,40 m ü.M. (Basis der Nutzungen) ein. Eine Verschlussmöglichkeit des unteren Durchflußquerschnittes, um den Anstau auch geringerer Abflüsse zu ermöglichen, kann aufgrund des Fehlens von Nutzungen o.ä. ausgeschlossen werden.

Es stellt sich die Frage, ob die Wehrstellungen und die Anzahl der eingelegten Dammbalken während des laufenden Bewässerungsbetriebes variiert werden konnten. Dabei kann von der Existenz von Balken aus Kalkstein ausgegangen werden¹⁰⁸; Steinbalken in vergleichbaren Ausmaßen sind bis in die heutige Zeit an anderen Funktionselementen (z. B. Auslaß Südbau) erhalten. Die Veränderung der Wehrstellung war mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich. Gerade das Entfernen der unteren Balken hätte erhebliche Kräfte erfordert, wenn der höchstmögliche Wasserstand im Stauraum vorlag. Da allerdings im Rahmen einer Abflußperiode zahlreiche Veränderungen der Dargebotsmenge und dadurch des Wasserspiegels im Stauraum eintraten, waren zu günstigen Zeitpunkten, also zu Zeiten niedrigen Wasserspiegels, Veränderungen der Wehreinrichtungen möglich.

Bezüglich der hydraulischen Schlüsselkurve der Auslässe im Nordbau ergibt sich, daß ab einem Wasserspiegel im Stauraum von 1199,40 m ü.M. (Basis der Nutzungen) die Durchflußkapazität zwischen festliegenden Grenzen variiert werden konnte. Diese Grenzwerte werden gebildet zum einen von der ungesteuerten Version mit freiem Abfluß durch den maximalen Querschnitt (Schlüsselkurve (2) in Abb. 15), zum anderen durch die Variante des unterströmten Wehres mit vollständig eingelegten Dammbalken (Schlüsselkurve (2')). Bei den weiteren Betrachtungen, auch bei der Simulation von Mittelwasserabläufen, sollen nur diese beiden Steuerungszustände berücksichtigt werden.

3.1.3 Verbindungs- und Anschlußbauwerk

Der Bauteil AN 3 (Block „F“ bei Schmidt, s. Abb. 11) muß – zumindest was die dem Stauraum zugewandte Mauerschale betrifft – in seinen unteren Bereichen bis zur erwähnten Höhe E (1198,37 m ü. M.) einer älteren Betriebsperiode zugeordnet werden. Der obere Teil des bis zur Abschlußhöhe von 1203,37 m ü.M. erhaltenen Baus ist also wahrscheinlich erst aufgrund einer Erhöhung der Gesamtanlage entstanden. Es kann allerdings auch vermutet werden, daß der obere Teil der Mauer- schale nur vor einen bereits bestehenden Baukörper vorgeblendet worden ist. Der Anlaß dazu wäre vermutlich in Beschädigungen an diesem und wohl auch anderen Funktionselementen der Gesamtanlage zu suchen. An der oberen Bauwerkskante, wo aufgrund von Beschädigungen einige Steinlagen fehlen, kann man hinter der Außenwand einen älteren Baukörper erkennen, der einen z. T. von dem jüngeren abweichenden Grundriß aufweist. Auch der leichte Versprung, der senkrecht durch die gesamte Westfassade geht, ist kaum in baukonstruktiven oder statischen Ursachen begründet. Vielleicht sind durch zusätzliche bauhistorische Untersuchungen Erkenntnisse über die Geschichte und die verschiedenen Bauperioden und -zustände dieses Bauteils AN 3 und möglicherweise älterer Ableitungsbauten zu erhalten.

Das Phänomen der Abrundung der süd- und südwestlichen Ecken der abgewinkelten Mauer ist zumindest in der erkennbaren, erhaltenen Funktion nicht mit hydraulischen Gründen zu belegen. Als eine

der letzten Maßnahmen an diesem Bauteil ist die Mauer flächenhaft verputzt worden. Das Putzmaterial ist größtenteils abgelöst, nur wenige Reste deuten auf den ehemaligen Umfang dieser Maßnahme gegen Sickerströmungen hin.

Die Anbindungen der angrenzenden Erddämme AE und AN 4b sind mit einer glatten Fuge erfolgt. Diese statisch ungünstigen Verbindungen stellten Schwachpunkte dar, worauf der schlechte aktuelle Zustand und Ausbesserungsarbeiten aus antiker Zeit hinweisen.

Der Baukörper AN 3 („F“) ist auf ein natürliches Kalksteinmassiv gegründet und in Abarbeitungen verankert. Der Felsen ragt an der sichtbaren, wasserseitigen Front bis in eine Höhe von etwa 1194 m ü.M. auf. Diese Art der Bauwerksgründung und vor allem die Front der Felspartie erinnert stark an die Situation des Südbaus oder der älteren Ableitungsbauten, so daß anzunehmen ist, daß auch bei der Errichtung des Nordbaus ursprünglich eine günstige topographische Situation ausgenutzt wurde und die ältesten Anlagen an dieser Stelle an natürliche, evtl. anthropogen bearbeitete Felsformationen angepaßt wurden. In diesem Zusammenhang irrt Glaser, wenn er annimmt, die relativ abseitige Lage des Nordbaus sei darin begründet, daß der Hauptzuleitungskanal zur Oase felsigen Untergrund für die Gründung benötigt¹⁰⁹.

Auch hier sind von weitergehenden bauhistorischen Untersuchungen und von Freilegungen an der Bauwerksbasis (Übergang Bauwerk – Kalksteinfelsen) wichtige Erkenntnisse zu erwarten.

3.1.4 Tosbecken

In dem Tosbecken wurde das mit hoher kinetischer Energie aus den Betriebsauslässen strömende Wasser beruhigt (Energieumwandlung, Abbau von Turbulenzen), um Erosion und Bruchrisiken für den Kanal zu verringern. Somit stellt das Tosbecken aus baulicher und hydraulischer Sicht die Übergangszone von den Betriebsauslässen AN 2 zu dem Hauptzuleitungskanal AN 5 dar, durch welchen das Wasser auf die Nordoase geführt wurde. Das Tosbecken besteht aus verschiedenen Funktionselementen (s. Abb. 11 u. Tafel 4b):

- dem Beruhigungsbecken AN 4,
- einer Schwergewichtsmauer als nördlichem Abschluß AN 4a,
- einem gestickten Erddamm als südlichem Abschluß AN 4b,
- evtl. einer massiven Sohlschwelle im Bereich der unmittelbar an die Auslaßwehre angrenzenden Turbulenzzone.

Das Tosbecken ist bei einer Breite von ca. 20 m etwa 100 m lang. Der Übergang zum Hauptzuleitungskanal erfolgt konisch zulaufend ohne abrupten Übergang, wobei das Becken nach Süden stark aufgeweitet ist. Dadurch wird das für ein Beruhigungsbecken notwendige Volumen bereitgestellt. Die Beckenwandung (Erddamm) AN4b lehnt über etwa 60 m an der Rückseite des Absperrdammes AE.

Der Abschluß nach Norden zum Wādī Ġufaina wird durch die Schwergewichtsmauer AN 4a gebildet, deren Krone sich in der Höhe 1201,70 m ü.M. befand. Der im Mittel etwa 6 m breite Baukörper verläuft in direkter Fortsetzung der Mauer im Durchlaß AN2 und auch der Abschlußmauer AN1. Auch diese Mauer ist konstruktiv als Schalenmauer mit Hinterfüllung ausgebildet. Auf ganzer Länge ist eine Erhöhung als verputzte Schüttmauer von ca. 1,1 m Höhe festzustellen. Diese Erhöhung stellt sicher eine Reaktion auf einen durch die Sedimentation im Tosbecken angestiegenen Wasserspiegel dar und wurde wohl gleichzeitig mit Umbauten an dem Hauptkanal durchgeführt.

Das Tosbecken wird südlich durch einen gestickten Erddamm AN 4b begrenzt. Die größte Kronen-

109 vgl. Glaser, Reise, 63.

höhe lag bei 1202,60 m ü.M., die Neigung der Böschung betrug 1:1,8. Die Abdeckung bestand aus senkrecht gesetzten (gestickten), behauenen Steinquadern und verringerte die Erosion.

Direkt auf die Betriebsauslässe AN 2 folgend wird eine schräg in das Tosbecken hineinragende, massive Sohlschwelle vermutet. Diese hätte im Bereich der maximalen Turbulenzen und auf die Sohle wirkenden Schubspannungen die Stabilität des Tosbeckens gewährleistet und Unterspülungen an den benachbarten Bauwerken verhindert. Hinweise auf ein derartiges Bauelement, nämlich eine der Abdeckschicht an anderen Funktionselementen ähnliche Schicht aus Putzmaterial in der Höhe von 1197,40 m ü.M., sind im Anfangsbereich des Tosbeckens am südlichen Beckenrand aufzufinden. Richtung, weiterer Aufbau und Höhe dieser vermuteten Mauer können nur im Rahmen einer Freilegung geklärt werden. Handelt es sich um eine das gesamte Becken überquerende, befestigte Schwelle, muß deren Höhe bei hydraulischen Berechnungen als maßgebliche Wehrbasis in Ansatz gebracht werden. Die Höhe dieses Bauelements stimmt mit der Höhe der Kanalsole im Anfangsbereich des Hauptzuleitungskanals überein, so daß dieser Höhenwert (1197,40 m ü.M.) in jedem Fall die hydraulisch wirk-same Sohlhöhe der Auslässe des Nordbaus N1 während der letzten Betriebszeit repräsentiert.

Bei der Betrachtung der Überreste im Tosbecken muß auch die Möglichkeit in Erwägung gezogen werden, daß es sich dabei um Teile eines älteren und damit auf tieferem Niveau liegenden Entnahmebauwerks handelt.

3.1.5 Hauptzuleitungskanal

Der Hauptzuleitungskanal, der sich aufgrund seiner gestickten Böschungen¹¹⁰ als einziger der Kanäle in einem außergewöhnlich guten Zustand befindet, wurde bis zur Aufgabe der Oase genutzt. Er liegt heute in auffälliger Weise auf einer dammähnlichen Trasse. Die Ursache für die Ausbildung eines Dammes ist hauptsächlich in dem Erosionsgeschehen seit Aufgabe des Bewässerungsbetriebes zu sehen. Das durchschnittliche Längsgefälle des Kanals beträgt 1,8‰. Das aktuelle Querprofil ist gekennzeichnet durch eine Böschungsneigung von 1:1,6, eine maximale Sohlbreite von 14,0 m und eine maximale Tiefe von 2,45 m. Der daraus abgeleitete maximale Abfluß¹¹¹ in dem Hauptzuleitungskanal beträgt 110 m³/s.

Der aus der maximalen Kapazität des Nordbaus resultierende Abfluß von $Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$ ist erst bei einer Wassertiefe im Kanal von etwa 2,55 m zu bewältigen, so daß unter dieser Voraussetzung für den Zeitraum seit Aufgabe des Bewässerungsbetriebes von einer leichten Erosion der ehemals etwas höheren Kanaldämme auszugehen ist.

Allerdings ist die in diesem Fall des maximalen Abflusses auftretende Fließgeschwindigkeit von 2,55 m/s auch für durch Stickungen befestigte Erdkanäle sehr hoch. Ausbesserungsspuren an den Böschungen deuten dennoch auf Beschädigungen hin, die vermutlich in der großen Fließgeschwindigkeit begründet sind. Daher war es sinnvoll, den Abfluß am Nordbau – wie bereits beschrieben – durch das Einlegen von Steinbalken bei Hochwasserereignissen zu verringern.

Die im Nordbau N1 existierende Sohlschwelle bei 1195,99 m ü.M. und die im Hauptverteiler freigelegte Sohlschwelle geben einen Hinweis auf einen Vorläuferkanal, der jedoch im Gelände nicht mehr identifizierbar ist. Dieses ist evtl. darin begründet, daß seine Trasse bei der Anlage des jüngsten Hauptzuleitungskanals KN1 wiederum genutzt wurde.

110 Die Böschungen sind bis heute im Originalzustand erhalten. Daher ist auszuschließen, daß der Kanal „vermörtelt“ war, wie von Dequin angegeben. Vgl. H. Dequin, Arabische Republik Yemen (1976) 134.

111 Berechnung nach H. Bretschneider, Press/Bretschneider – Hilfstafeln zur Lösung wasserwirtschaftlicher und wasserbaulicher Aufgaben (1974)¹⁰. Verwendet wurde $k_s = 30$.

3.2 SÜDBAU S1/2

Am südlichen Abschluß des Absperrrdammes AE befindet sich als Ableitungselement der Südbau. Die auf dem anstehenden Kalkfelsen gegründeten, umfangreichen Bauten sind in ihrem letzten Betriebszustand bis heute erhalten und entstammen den beiden letzten Betriebsperioden. Aus erkennbaren, baulichen Veränderungen können auch Rückschlüsse auf den Zustand der älteren Periode II abgeleitet werden.

Zur Beschreibung und Beurteilung kann der Südbau in einzelne Bauelemente mit unterschiedlichen Teilfunktionen aufgeteilt werden (s. Abb. 16 u. Tafeln 4c–5c).

- AS1: Durchlaßbereich mit Überlaufschwelle und Dammbalkenwehr als Bewässerungsauslaß und Hochwasserentlastung,
- AS2: Schwergewichtsabschlußmauer als Anschlußbauwerk für den Erddamm und als nördliche Begrenzung des Tosbeckenbereiches,
- AS3: Auslaßbauwerk zum Hauptzuleitungskanal zur Südoase,
- AS4: Auslaßbauwerk zur Hochwasserentlastung/Ableitung in das Wādī Dana,
- AS5: Teilungsbauwerk zur Aufteilung der am Dammbalkenwehr AS1 entnommenen Wassermenge.

3.2.1 Dammbalkenwehr

Bei dem Auslaß handelt es sich um einen 5,50 m breiten Felsdurchbruch, der bis auf ein Niveau von etwa 1191,0 m ü.M. künstlich ausgeschlagen wurde. Auf dem Felsuntergrund, der als ursprüngliche Sohlschwelle gedient hat, ist eine etwa 4,5 m hohe und 6,5 m lange Schwergewichtsmauer aus Kalkquadern errichtet worden, welche eine Überlaufschwelle mit der Höhe von 1195,56 m ü.M. bildet. Die Mauerkrone wird durch großformatige Quader gebildet, die sämtlich in Fließrichtung (als Binder) verlegt sind.

Die begrenzenden Felswände reichen bis in Höhen von 1197,3 m ü.M. (nördliche Wand) und 1199,3 m ü.M. (südliche Wand). Beidseitig sind noch gemauerte Aufbauten mit Oberkanten bei 1204,3 m ü.M. (nördlicher Aufbau) und 1202,5 m ü.M. erhalten.

Es liegt bei der Anlage nahe, den ursprünglich unverbauten Felsdurchbruch als Auslaß einer älteren Betriebsperiode zu interpretieren. Der Zeitpunkt der Fertigstellung kann mit zwei gleichlautenden Inschriften¹¹², die sich in der Zone des Durchlasses an den Felswänden befinden, auf etwa 510 v. Chr. datiert werden. Es fällt auf, daß der Fuß der südlichen Inschrift genau die Höhe des gegenüberliegenden nördlichen Felsens (1197,3 m ü.M.) aufnimmt. Dies kann als Hinweis gesehen werden, daß die Höhe der Felsen auch die Höhe der Auslaßanlage und des Absperrrdammes zur Zeit der Betriebsperiode II angibt. Die bei der Beschreibung des Nordbaus N1 erwähnte Linie „E“, die der Höhenlage 1198,37 m ü.M. entspricht, ist auch im Bereich des Durchlasses AS 1 deutlich in der Mauerschale des wadiseitigen Pfeilerelements erkennbar. Die bergseitige, natürliche Felsbegrenzung des Durchlasses reicht auffälligerweise ebenfalls bis zu dieser Höhe.

Mit dem Querschnitt und dem sich daraus ergebenden maximalen Wasserspiegel kann für diesen älteren Auslaß eine Schlüsselkurve erstellt werden, wobei der anstehende Felsuntergrund als Sohlschwelle

112 „Yīta‘amar Bayyin, der Sohn des Sumhu‘aliy Yanūf, Mukarrib von Saba², hat ausgehauen des Fels (die Felsöffnung) des Staubeckens (oder: Speicherka-

nals) Habābiq des Hauptkanals von Yaśrān.“ Müller, Bemerkungen 129f.

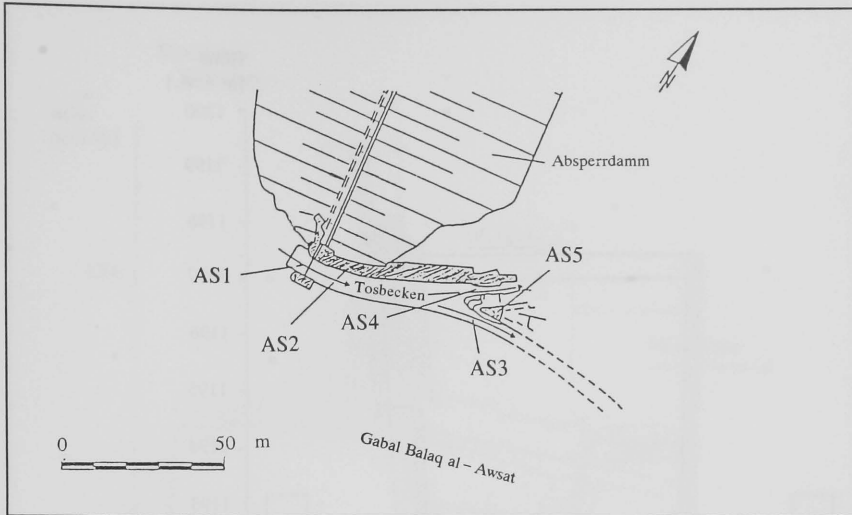


Abb. 16. Grundriß der Bauanlage S1.

angenommen wird. Demnach konnten mit dieser Anlage maximal, d. h. ohne Berücksichtigung eines notwendigen Freibordes, etwa $120 \text{ m}^3/\text{s}$ abgeleitet werden. Die nördliche Inschrift, die etwa 9 m weiter östlich in der Höhe 1194,70 m ü.M. zu finden ist, weist auf den niedrigeren Wasserspiegel bei mittleren Betriebssituationen im Auslaß bzw. auf die Absenkung des Wasserspiegels im anschließenden Tosbecken hin.

Die im Durchlaßbereich stehende, massive Schwergewichtsmauer weist deutlich erkennbare Anzeichen auf, daß die ursprüngliche Durchlaßschwelle bei 1191,0 m ü.M. den Anforderungen des Betriebes nicht mehr genügte und durch eine eingebaute Sohlschwelle aus großformatigen Kalkquadern mit einem Schwellenniveau bei 1192,10 m ü.M. erhöht wurde.

Eine durch veränderte Bewässerungsbedingungen auf der Nordoase veranlaßte Erhöhung des funktionell voneinander abhängigen Stau- und Ableitungssystems führte zu erheblichen Veränderungen an dem Auslaß AS 1. Dabei wurden die begrenzenden Pfeilerbauten auf den Kalkfelsen errichtet. Einen Hinweis zu deren Datierung kann eine Inschrift geben, die sich in situ am Fuß des wadiseitigen Pfeiler-elementes von AS 1 an der Felswand befindet. Der Text wird von Robin in das 1. Jh. v. Chr. datiert¹¹³. Der Inhalt zeigt an, daß sich die Inschrift an ihrem ursprünglichen Ort befindet. Es wird berichtet, daß der Palmgarten „yfd“ bewässert werden kann, wenn der Wasserspiegel die Inschrift erreicht.

Um bei einer erhöhten Sohlschwelle im Nordbau weiterhin die sinnvolle Verteilung des Wassers zu gewährleisten, mußte gleichzeitig auch bei AS 1 die Schwelle im Auslaß erhöht werden; aufgrund ihrer sehr massiven Bauausführung ist diese mit einem Überfallniveau von 1195,56 m ü.M., welches den neugeschaffenen Zustand zu Beginn der Betriebsperiode I angibt, bis heute erhalten.

113 vgl. Ch. Robin, PSAS 18, 1988, 98.

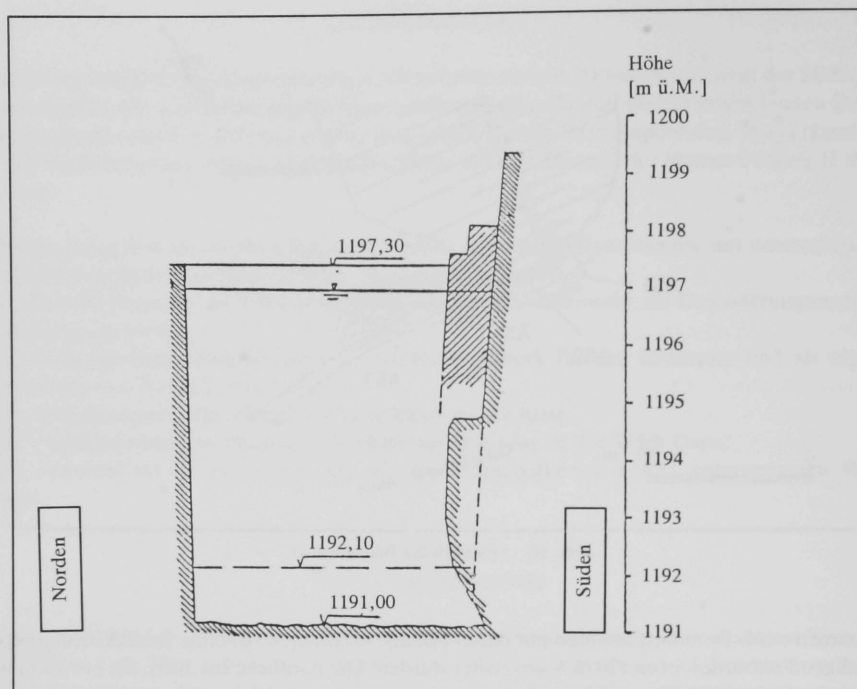


Abb. 17. Querschnitt Durchlaß AS1 (Zustand Betriebsperiode II).

Als wichtiger Hinweis auf Betriebsabläufe fällt neben vielfach vorhandenen Abarbeitungen ein massiver, eingezapfter Steinbalken im Südpfeiler in der Höhe von 1201 m ü.M. auf. Seine Oberkante weist ausgeprägte Abrundungen auf, wie sie für den Abschliff durch Seile o.ä. typisch sind¹¹⁴. Es ist zu vermuten, daß über den Zapfen Seile geführt wurden, die Lasten wie z. B. die Steinbalken eines Wehres bewegten. An der entsprechenden Stelle der nördlichen Wand sind allerdings Hinweise für einen zweiten Zapfen, wie er für den Betrieb eines Balkenwehres erforderlich gewesen wäre, nicht zu finden. Möglicherweise ist dies auf spätere Umbauten oder Reparaturen zurückzuführen, die bereits zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurden, als auf eine derartige Hebmöglichkeit verzichtet werden konnte. Durch großflächigen Verputz an der in Frage kommenden Stelle wird diese Deutung unterstützt. Da weder im Mauerwerk noch in den Felswänden die für ein bewegliches Wehr erforderlichen Führungsnuten vorhanden sind, ist für die Betriebsperiode I die Existenz eines Balkenwehres im Auslaß AS 1 des Südbaus eher unwahrscheinlich.

In dem Durchlaß schließt Merckel¹¹⁵ auf ein Dammbalkenwehr, bei dem die Balken zum Zwecke des leichteren Aus- und Einbaus in Stufen angeordnet sind. Er weist bereits darauf hin, daß diese Arbeiten nur bei einem geringen Wasserstand möglich waren.

114 Vergleichbare Abrundungen sind z. B. stets auch bei den einfassenden Randsteinen antiker Brunnen in Märib vorzufinden.

115 vgl. C. Merckel, Die Ingenieurtechnik im Alterthum (1899) 125.

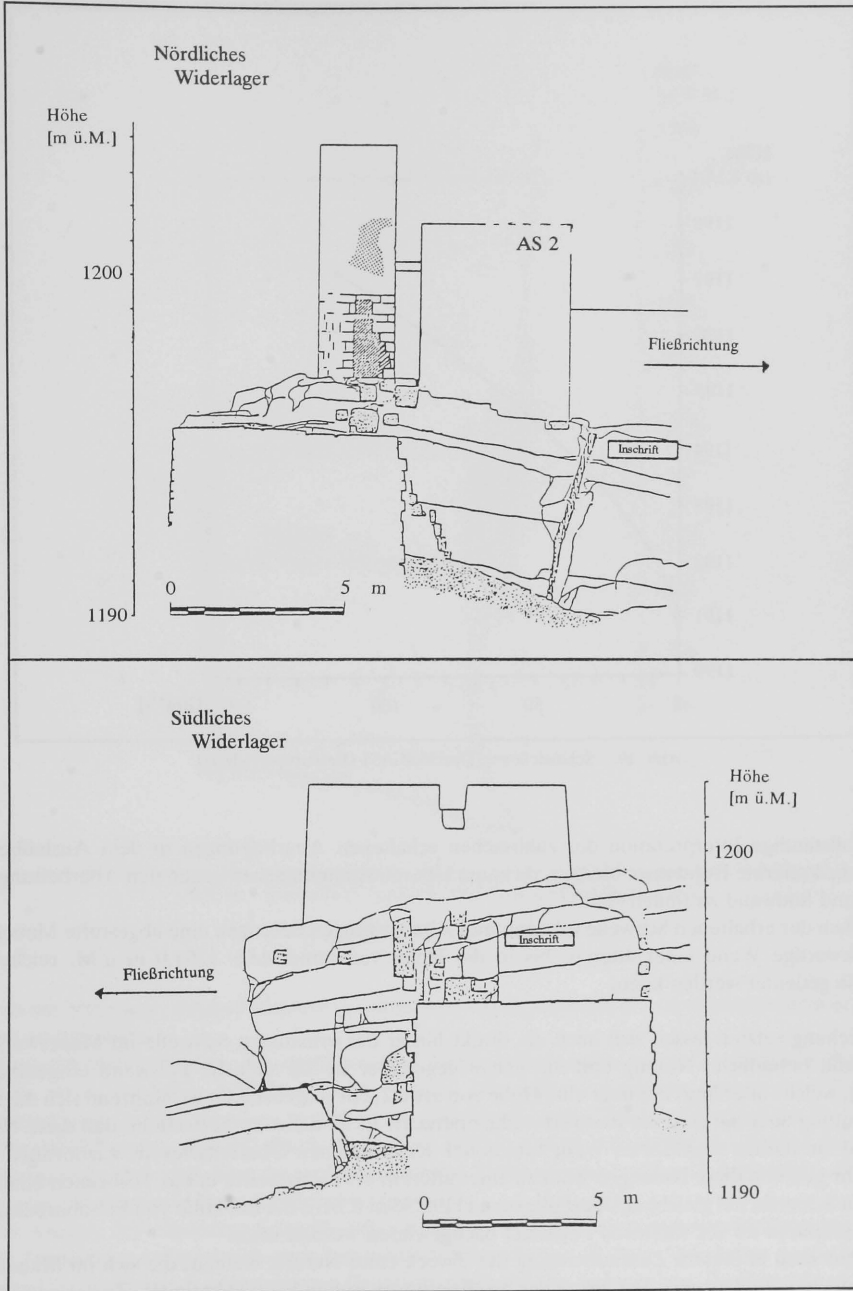


Abb. 18. Ansichten der Widerlager im Durchlaß AS1 nach Unterlagen des DAI.

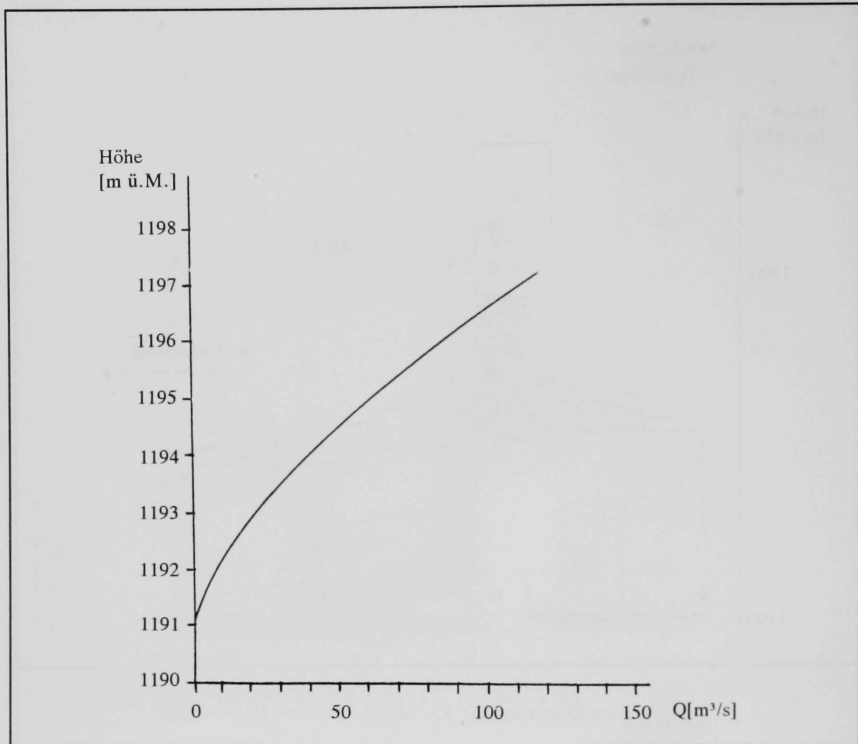


Abb. 19. Schlüsselkurve Durchlaß AS1 (Betriebsperiode II).

Eine vollständige Interpretation der zahlreichen erhaltenen Abarbeitungen in dem Auslaßbereich muß ohne konkrete Ergebnisse bleiben, da kaum Übereinstimmungen zwischen den Abarbeitungen in Nord- und Südwand zu finden sind.

Die östlich der erhaltenen Schwelle erkennbaren Abarbeitungen bezeugen eine abgestufte Mauer, die als rückwärtige Wand einer älteren, bis in die Höhe von mindestens 1194,0 m ü.M. reichenden Schwelle gedeutet werden kann.

In Beziehung setzen lassen sich auch die direkt hinter der erhaltenen Schwelle im Mauerwerk der Nordwand befindliche Nutung und die genau gegenüber in die südliche Felswand eingearbeitete Nutung, welche allerdings nur über eine Höhe von etwa 2,2 m ausgearbeitet ist, während sich die nördliche Nutung über die gesamte Bauwerkshöhe erstreckt. Es ist daher zu bezweifeln, daß diese Nutungen und ein daraus abgeleitetes Wehr funktional der erhaltenen Überfallschwelle zuzuordnen sind. Vielmehr gehören diese Nutungen wohl zu einer älteren, etwa 2 m weiter in das Tosbecken hineinreichenden Schwelle mit gleichem Überfallniveau (1195,56 m ü.M.), die mit Hilfe von Felsabarbeitungen und Fließspuren an der südlichen Felswand nachgewiesen werden kann.

Ungeklärt muß in diesem Zusammenhang der Zweck einer Nutung bleiben, die sich im Mauerwerk des nördlichen Pfeilers etwa 1 m neben der beschriebenen großen Nutung befindet. Zu der auffälligen, aus dem Mauerwerk herausgeschlagenen und mit Putz ausgekleideten Ausarbeitung besteht kein Pen-

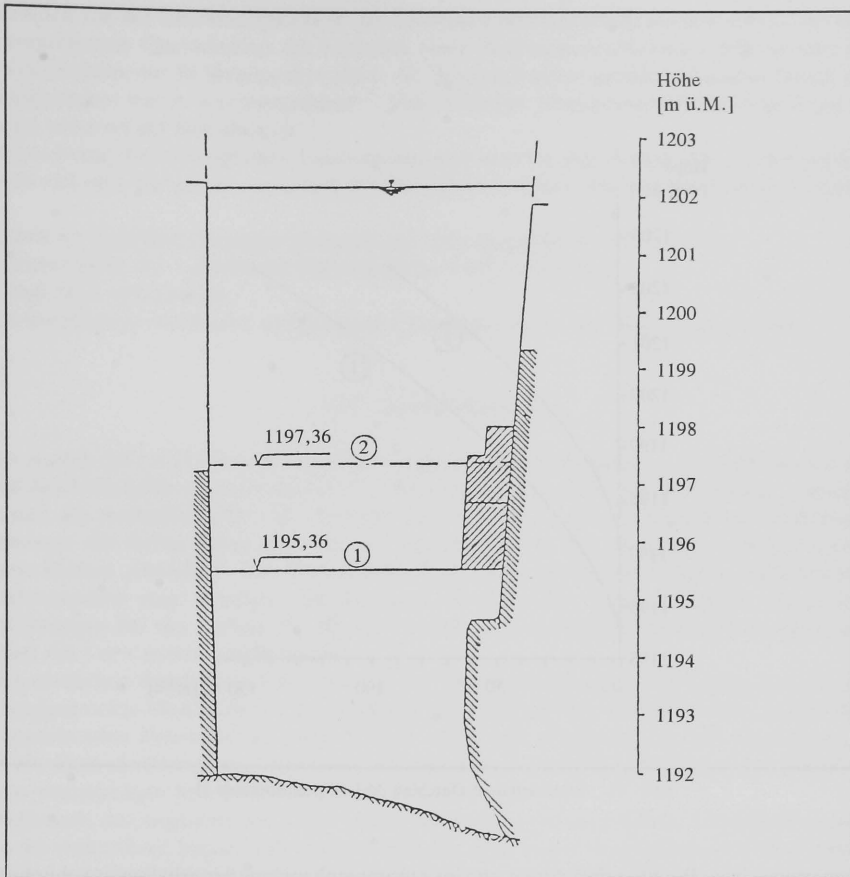


Abb. 20. Querschnitt Durchlaß AS1 (Zustand Betriebsperiode I).

dant an der Südwand, welches bemerkenswerterweise im Bereich des o.a. herausragenden Steinzapfens zu suchen wäre.

Erklärungsbedürftig bleiben die quadratischen Felsausarbeitungen, die am westlichen Ende der Schwelle bis zu der Höhe 1197,36 m ü.M. reichen. Diese könnten mit der erhaltenen Schwelle in Zusammenhang stehen, zumal zu bedenken ist, daß für die letzte Betriebsphase I/4 die hydraulisch wirksame Höhe am Nordbau N1 durch das Niveau 1197,39 m ü.M. (=Sohlhöhe zu Beginn des Hauptkanals) repräsentiert wird. Eine bis zu den genannten Abarbeitungen reichende Schwelle in AS1 stellt daher eine naheliegende Rekonstruktionsvariante dar.

Bei der Analyse der erhaltenen Schwelle fällt auf, daß sie weit in den Stauraumbereich hinein angelegt ist; die Mauerfront befindet sich etwa 2 m westlich des südlichen Pfeilers. Durch den gegenüber dem direkten Durchlaßbereich aufgeweiteten Grundriß ergibt sich die Gelegenheit, die Schwelle gegen das anstehende Gestein abzustützen.

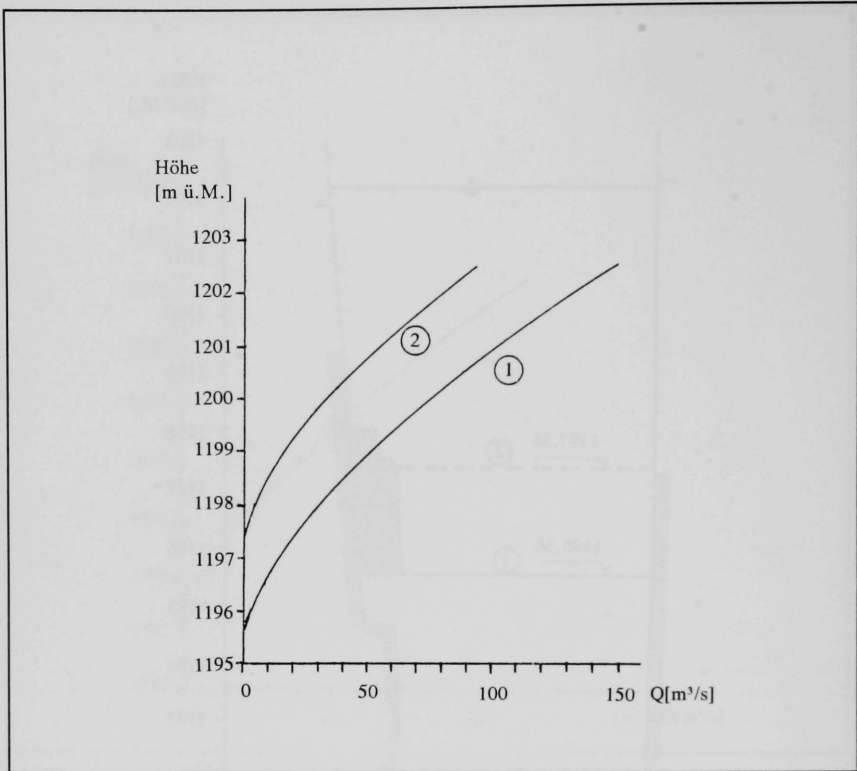


Abb. 21. Schlüsselkurve Durchlaß AS1 (Betriebsperiode I).

Eine Steuerungs- bzw. Reguliereinrichtung, die im Zusammenhang mit der erhaltenen Sohlschwelle in Funktion stand, ist also nicht eindeutig zu rekonstruieren. Bei den Überlegungen sind die von Brunner¹¹⁶ beschriebenen Staumsedimente einzubeziehen, welche in direkter Nachbarschaft des Südbaus die Höhe von 1201,06 m ü.M. erreichen und nur bei einem zeitweisen Verschluß des Auslasses AS 1 entstanden sein können.

Aufgrund fehlender Abarbeitungen ist eine Absperrung aber nur als Aufschichtung der entsprechenden Anzahl großformatiger Kalkquader vorstellbar. Als Baumaterial hätten sich dabei die Steine des noch zu beschreibenden Teilungsbauwerks AS 5 angeboten. Das vollständige Fehlen von Überresten dieses Bauteils kann plausibel nur durch einen planmäßigen Abbau bei Wiederverwendung des Materials erklärt werden. Auf der Durchlaßschwelle aufgebaute Steinquaderschichten, die entsprechend dem nach oben hin geringer werdenden Druck abgestuft angeordnet waren, hätten durchaus den Wasserdruck aufnehmen können. Die Höhe der Absperrung konnte so gewählt werden, daß sie im Falle eines Hochwasserereignisses bald überströmt wurde und die aufgeschichteten Steinquader durch den

116 vgl. Brunner, Erforschung, 17.

Wasserdruck von der Überlaufschwelle in das Tosbecken hineingedrückt wurden, so daß mit Hilfe des dann vergrößerten Querschnittes die Funktion einer Hochwasserentlastung erfüllt werden konnte. Eine Konstruktion aus 38 Steinquaderreihen, die dem nach unten größer werdenden Druck entsprechend angeordnet waren, war ausreichend¹¹⁷. Eine derartige Absperrung ließ allerdings keine Veränderungen während des Betriebes zu.

Zur Betrachtung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sind für den Auslaß AS 1 3 charakteristische Zustände relevant, die gut die verschiedenen Betriebssituationen während der Periode I repräsentieren:

- Auslaß AS 1 geöffnet (heutiger Zustand) mit Schwellenhöhe 1195,56 m ü.M.;
- Auslaßschwelle AS 1 erhöht mit Schwellenhöhe 1197,35 m ü.M.;
- Auslaß AS 1 verschlossen.

Die Schlüsselkurven der beiden erstgenannten Zustände sind in der Abb. 21 dargestellt.

3.2.2 Anschlußbauwerk

An den Auslaß AS 1 schließt nach Osten ein langgestrecktes Tosbecken an, das nach Norden im oberen Teil durch die Schwergewichtsmauer AS 2 begrenzt wird (s. Abb. 16). Wie auch der untere Querschnittsteil des Auslaßbereiches AS 1 besteht das Tosbecken aus einer künstlichen Einkerbung des Felsabhanges des Ġabal Balaq al-Awsaṭ. Es handelt sich bei dem Tosbecken um das inschriftlich erwähnte Becken „Hababid“. Der Grundriß des Tosbeckens mit der am östlichen Ende hineinragenden Felsformation zeigt deutlich, daß die durch die natürliche Felsmorphologie vorgezeichneten Bruchrichtungen bei der Anlage des Beckens einbezogen wurden; es wird auch deutlich, daß der Durchlaß AS 1 erst später erstellt wurde.

Auf den nördlichen Rand dieser Einkerbung ist die Schwergewichtsmauer AS 2 aufgesetzt worden. An diese langgestreckte Mauer, die als Schalenmauer mit Hinterfüllung errichtet wurde, und an den darunter anstehenden Felsen ist der nach Norden abgehende Absperrdamm AE angebunden. Nach Süden hin dient die Mauer als Tosbeckenabschluß, in den das Nordwiderlager des Auslasses AS(1) und sein wasserseitiger Stützpfiler integriert sind.

Die Südfassade des insgesamt etwa 65 m langen Bauwerks ist in 12 vertikale Abschnitte aufgeteilt¹¹⁸. Das an die senkrechten Fugen nach Osten anschließende Mauerwerk springt um jeweils durchschnittlich 10 cm zurück. Deutlich sichtbar sind zwei Abschnitte im senkrechten Aufbau, die durch eine Trennlinie bei etwa 1195,37 m ü.M. gekennzeichnet sind¹¹⁹. Die Breite der Mauer differiert in den einzelnen Abschnitten entsprechend ihrer Bauhöhen.

117 Eine derartige Absperrung ist nach statischen Gesichtspunkten durchaus realisierbar. Bei einer Wasserspiegelhöhe von 1201,5 m ü.M., welche die Ablagerung der Stauraumsedimente ermöglicht hätte, wirkt auf die gesamte Absperrung durch den statischen Druck eine Kraft von 950 kN, die von den Steinquadern der Sperre aufgenommen werden mußte.

Bei einem Querschnitt der Quader von 0,5 x 0,5 m

besitzt eine über die ganze Schwellenbreite reichende Steinreihe ein Gewicht von 36 kN. Zur Verschiebung dieser Reihe ist eine Kraft von etwa 25 kN erforderlich (mit einem Haftreibungskoeffizienten 9,7), so daß 38 Reihen den Druck aufnehmen können.

118 Eine ausführliche Darstellung ist zu finden bei Schmidt, Untersuchungen, 9f., Tafeln 130, 132.

119 Die Höhenlage entspricht der Linie H (ebd. 18).

3.2.3 Teilungsbauwerk mit nördlichem und südlichem Auslaßbereich

Die natürlich vorhandene Oberflächenstruktur des Felshanges war in idealer Weise geeignet, das Stau-
bauwerk und alle seine Funktionselemente optimal und sicher zu konzipieren.

Hierdurch wurde auch die Erstellung der in funktionellem und baulichem Zusammenhang stehenden
Baelemente

- Abzweig zur Südoase AS 3,
- Hochwasserentlastung AS 4 und
- Teilungsbauwerk AS 5

begünstigt (s. Abb. 16 u. Tafel 5b).

Diese Bauwerke bilden den östlichen, tieferen Bereich des Tosbeckens als weiterführende, zum Teil
künstlich in den anstehenden Fels eingearbeitete Abflußbereiche ins Wādī Dana und zur Südoase.
Als Teilungsbauwerk diente ein anstehendes Kalksteinmassiv, welches beidseitig bearbeitet wurde,
um leistungsfähige Abflußquerschnitte zu schaffen. Die nach Westen zeigende Spitze ist aus hydraulischen
Gründen abgerundet. Zahlreiche Abarbeitungen und noch in situ befindliche, eingesteckte
Pfahlquadern aus Kalkstein weisen darauf hin, daß auf dem Felsen ein umfangreiches Bauwerk aus
Schalenmauern mit Hinterfüllung errichtet war. Der steingerechte Aufnahmeplan¹²⁰ zeigt deutlich den
dreieckigen Grundriß. Die Höhe des Baukörpers entsprach vermutlich der des gegenüberliegenden
Bauabschnittes 2 des Südbaus (etwa 1199,6 m ü.M.). Unter Berücksichtigung des maximalen Wasser-
spiegels in diesem Bereich der Anlage ($W_{\max} = 1197,41$ m ü.M.)¹²¹ wäre auch eine Bauhöhe von etwa
1198,0 m ü.M. bereits ausreichend gewesen.

Der nördlich gelegene Abströmbereich AS 4 besteht aus einem künstlich geschaffenen Felsdurchbruch
mit einer mittleren Breite von $B = 7$ m (s. Abb. 23). Die Situation ähnelt der am Auslaßbereich AS 1,
auch hier künden zwei gegenüberliegende gleichlautende Inschriften¹²² von der Anlage des Felsdurch-
stichs. Der sich nach unten verjüngende Querschnitt besitzt eine nach Norden abfallende Sohle, die
allerdings bis in eine Höhe von 1186,0 m ü.M. mit Sand bedeckt ist. Die Kalksteinmassive fallen nach
Osten in Richtung auf das Wadi hin ab. Die westlich gelegenen, höchsten Punkte der Felsbegrenzun-
gen erreichen beidseitig Höhen von etwa 1195,5 m ü.M.. Die Inschriften befinden sich in Höhen von
1190,06 m ü.M. (nördliche Inschrift) und 1191,6 m ü.M. (südliche Inschrift), was als Hinweis auf einen
Betriebswasserspiegel während eines bestimmten Betriebszeitraumes verstanden werden kann.

Offensichtlich liegt mit dem Felsdurchstich in seinen erhaltenen Dimensionen ein Abflußbereich vor,
der während der Betriebsperiode II gemeinsam mit dem unteren Bauabschnitt des Anschlußbauwerks
AS 2 in Funktion stand. Die erwähnten Inschriften bei AS 1 und AS 4 sagen aus, daß der östliche Fels-
durchstich zwischen 528 v. Chr. und 510 v. Chr. angelegt wurde, eine Generation eher als der westliche
Auslaß (510 v. Chr. – 490 v. Chr.)¹²³. Es kann angenommen werden, daß der Bauteil AS 4 wäh-
rend dieses Zeitraumes vermutlich im Rahmen der Bauanlage S3 in Betrieb war. Nach diesem sehr
kurzen Zeitraum wurde die Gesamtanlage umgestaltet und AS 4 diente in Zusammenhang mit AS 1
(Periode II) als Einlaufbauwerk in den zu diesem Zeitpunkt hier anschließenden Hauptkanal zur Süd-
oase.

120 ebd.

121 vgl. Kap. 3.2.5.

122 „Sumhu‘aliy Yanūf, der Sohn des Damar‘aliy, Mukarrib von Saba‘ hat ausgehauen den Fels (die Felsöffnung) des Staubeckens (oder: Speicherkana-
ls) Rahābum des Hauptkanals von Yasarān.“ Müller, Bemerkungen 129f.

123 v. Wissmann vermutet, daß im Zuge der jüngeren Arbeiten lediglich eine Erweiterung oder Vertiefung vorgenommen wurde, die Anlage prinzipiell also gleich blieb (vgl. v. Wissmann, Großreich, 268ff.).

Bemerkenswert ist der große Höhenunterschied zwischen den natürlichen Sohlswellen bei AS 1 (1191 m ü.M.) und AS 4 (1186 m ü.M.). Dadurch ist ein deutlicher Hinweis darauf gegeben, daß von dem Gedanken einer ursprünglich durchgehenden Konzeption für die beiden Felsdurchstiche abgegangen werden muß. Wahrscheinlich mußte im Bereich des Südbaus der westliche Durchstich AS 1 dann angelegt werden, als man eine Erhöhung der Ableitungsanlage zur Nordoase und eine entsprechende Dammerhöhung um mehrere Meter durchführte. Die durch die Schaffung des Durchstiches AS 4 bewirkten Veränderungen der Betriebsabläufe hatten sich wohl ungünstig ausgewirkt, so daß bei der erneut notwendigen Umgestaltung des Südbaus eine Erhöhung aller Bauelemente mit durchgeführt wurde. Vorstellbar ist auch, daß bereits im Zuge dieser Veränderungen der östliche Felsdurchstich wieder teilweise verschlossen wurde, um einen Teil des Wassers südlich des Teilungsbauwerks AS 5 in einen Hauptkanal zu den Bewässerungsflächen einzuleiten. Bei einer entsprechenden Wehrhöhe hatte der Abflußbereich AS 4 eine Hochwasserentlastungsfunktion übernommen, wobei allerdings nicht das Absperrbauwerk selbst, sondern der Hauptbewässerungskanal vor Schäden geschützt wurde. Es muß aufgrund der Untersuchungen als ausgeschlossen gelten, daß während der Betriebsperiode I von AS 3 und AS 4 ausgehend 2 Kanäle zur Südoase führten¹²⁴.

Von Arbeiten am Südbau ist neben den in situ befindlichen eine weitere Inschrift¹²⁵ bekannt, die v. Wissmann¹²⁶ dem jüngeren Bauherrn des Südbaus zuschreibt. Er schließt aus dem Inhalt auf die zeitweise Existenz einer zusätzlichen „Trennungswand“ zwischen dem Tosbecken und der Hochwasserentlastung, die im Zuge der inschriftlich erwähnten Arbeiten geöffnet wurde.

Der Übergang zu der Betriebsperiode I ist gekennzeichnet durch die Errichtung der entsprechenden Baukörper des Teilungsbauwerks und des Anschlußbauwerks AS 2 in ihrer erhaltenen Höhe, da aufgrund des angestiegenen Betriebswasserspiegels diese als höhere Begrenzungswände für den Abflußbereich der Hochwasserentlastung erforderlich wurden. Dieser Umbau der Anlage könnte mit den drei Monate dauernden Arbeiten identisch sein, die nach einem verheerenden Dammbbruch mit umfangreichen Zerstörungen am Südbau notwendig geworden waren. Davon wird in mehreren Inschriften berichtet, die von Jamme in das 3. Jh. n. Chr. datiert werden¹²⁷.

Umfangreiche Felsarbeiten (s. Abb. 22) zeugen davon, daß der maximale Durchfluß mit Hilfe eines Überfallwehres verringert wurde. Diese Abarbeitungen weisen ein inhomogenes Bild auf, die Längenausdehnung auf der Nordwand beträgt etwa 5,4 m, auf der Südwand etwa 6,0 m. Die Zusammengehörigkeit der Abarbeitungen an den Durchlaßseiten wird dadurch nachgewiesen, daß sich einige Abarbeitungen im Sohlbereich fortsetzen, die jeweils äußeren entsprechen sich z. T. spiegelbildlich. Diese Argumente weisen deutlich darauf hin, daß kein bewegliches Wehr, sondern eine fest verankerte Überlaufschwelle in dem Bereich AS 4 eingebaut war.

Die höchsten Abarbeitungen erreichen beidseitig die Höhe von 1193,74 m ü.M., so daß angenommen werden muß, daß während des letzten Betriebszeitraumes der Anlage diese Höhe als Überfallhöhe angesetzt werden muß (Zustand III in Abb. 22). Eine Steuerung mit variablen Dammbalken o.ä. kann aufgrund fehlender Abarbeitungen nicht existiert haben. Eine weitere Erhöhung der Schwelle durch unbefestigte, aufgelegte Steinquader, wie sie für AS 1 vorgeschlagen wurde, kann ausgeschlossen werden, da die Gestaltung der Oberfläche der letzten Überfallschwelle ein Aufbringen weiterer Teile

124 vgl. Dequin, Republik, 134.

125 „Und als er ausgehauen hat den Fels (die Felsöffnung) des Staubeckens (oder: Speicherkanals) Ḥabābid (Text: ḥbqđ) und ausgehauen hat den Fels (die Felsöffnung) des Überlaufreservoirs (des Auslaufkanals) des Staubeckens (oder: Speicherkanals) Raḥābūm, welcher (welches) in Richtung des Felsens (der Felsöffnung) des Hauptkanals von Yasran

ist.“ v. Wissmann, Großreich, 269–274; Yita^{amar} Bayyin bin Sumuhu'alī Yanūf (2) RES 3943, Großer Tatenbericht.

126 vgl. v. Wissmann, Großreich, 270 f.

127 Es handelt sich um die Inschriften Jamme 671 und 788, zit. bei J. Ryckmans, Le Barrage et les Jardins du Royaume de Saba, (o.J.) 28 ff.

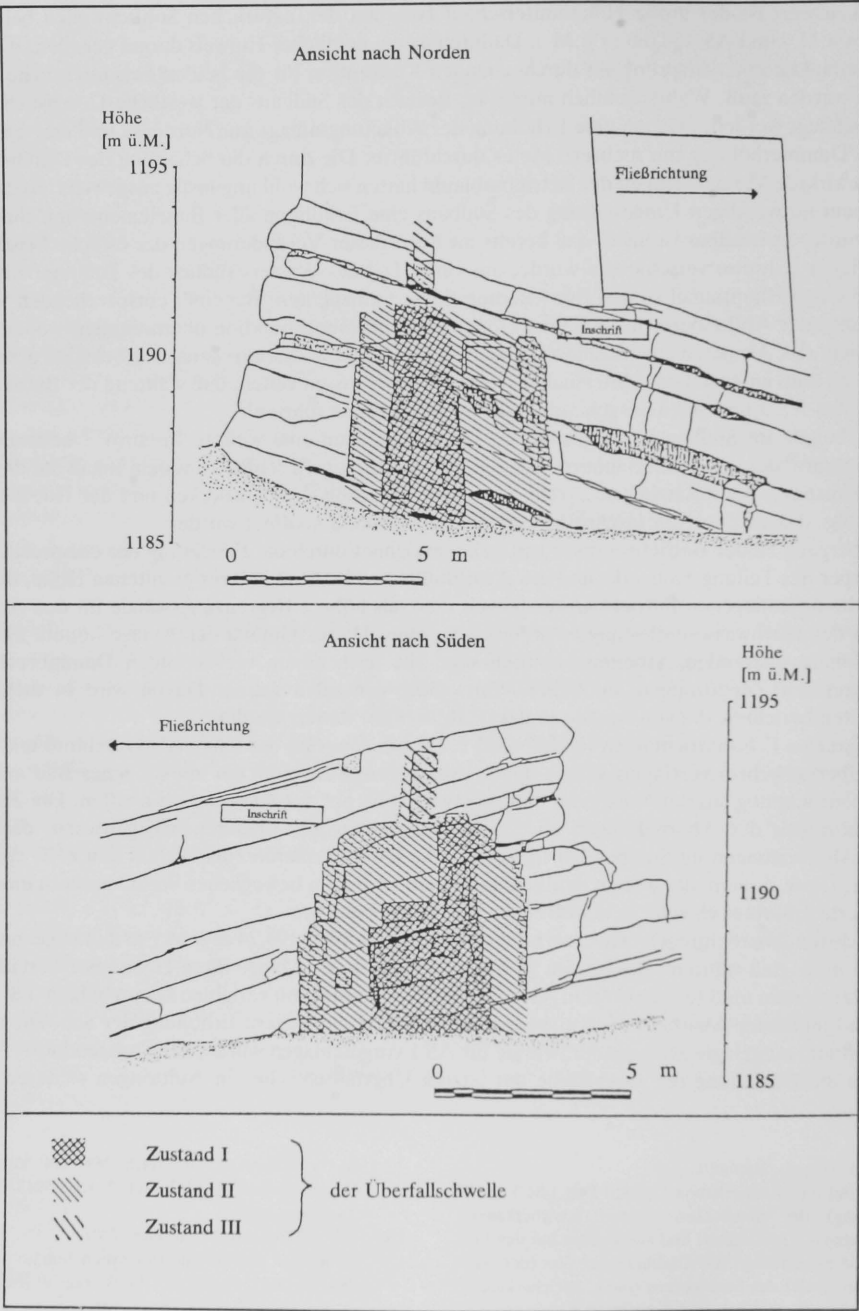


Abb. 22. Ansichten im Durchlaß AS4 nach Unterlagen des DAI.

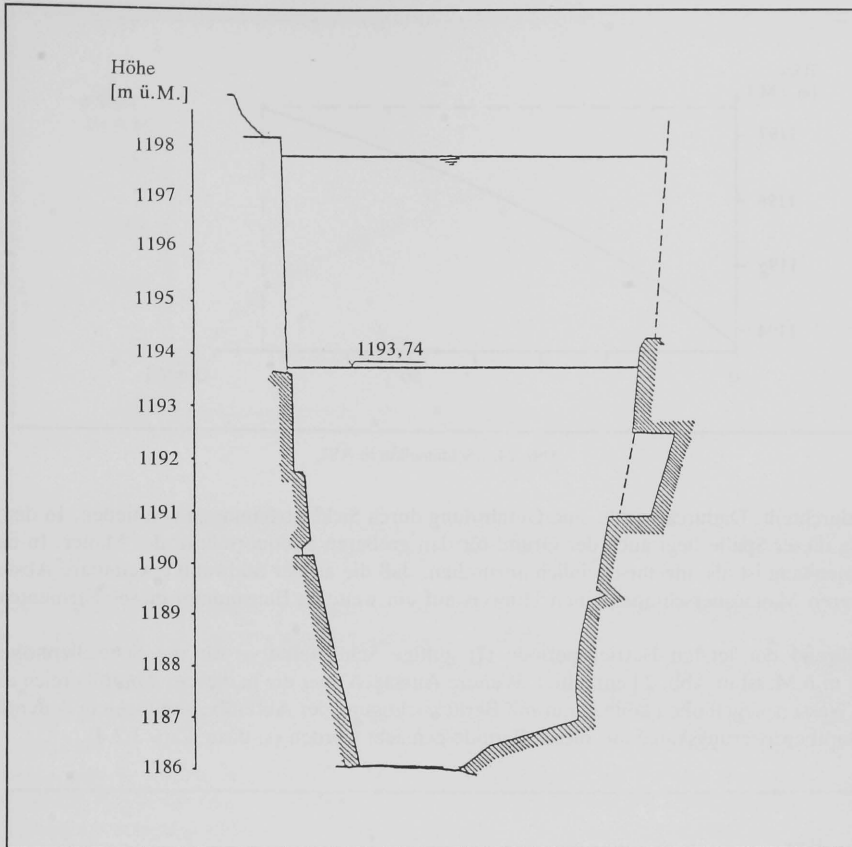


Abb. 23. Querschnitt AS4.

nicht zuläßt, wie aus den Ansichten zu sehen ist. Bei dieser Darstellung fällt sofort auf, daß die letzte Schwellenhöhe von 1193,74 m ü.M. nur erreicht wurde, indem auf eine voluminöse Schwergewichtsmauer eine Erhöhung aufgesetzt wurde. Diese Schwergewichtsmauer beschreibt mit ihrer Höhe von 1191,50 m ü.M. das Überfallniveau einer früheren Periode (Zustand II in Abb. 22). Ein älteres Bauelement mit derselben Überfallhöhe wird durch die inneren Abarbeitungen gekennzeichnet (Zustand I in Abb. 22). Diese Mauer war vermutlich trotz der Einbindung in zahlreiche, seitliche Abarbeitungen nicht massiv genug, so daß eine größer dimensionierte Überfallschwelle erstellt wurde.

Aus den Abarbeitungen ist deutlich erkennbar, daß der relativ unsymmetrische ältere Baukörper den späteren Mauerkern bildete. Er war offensichtlich mit sehr sauber gearbeiteten Mauern verkleidet. Vor allem die Situation an der Wasserseite (Westmauer) erinnert stark an den Befund bei der Schwergewichtsmauer der Anlage N4 („Bau A“), wo bei der dort befindlichen Schwergewichtsmauer in gleicher Weise vor einer Mauer aus grob behauenen Kalksteinen eine perfekte Werksteinmauer errichtet war. Der Mauerkern ist geschickt vor einer natürlichen Spalte angeordnet, die das südliche Felsmassiv

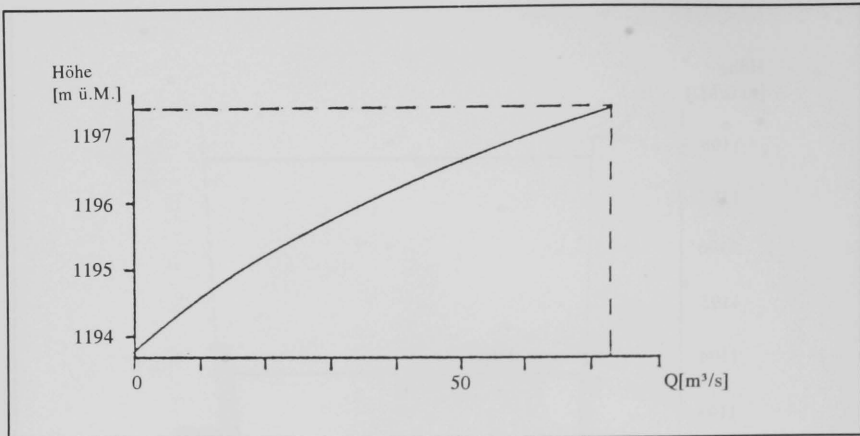


Abb. 24. Schlüsselkurve AS4.

schräg durchteilt. Dadurch wurde eine Gefährdung durch Sickerströmungen vermieden. In der Ausdehnung dieser Spalte liegt auch der Grund für den größeren Südquerschnitt der Mauer. In diesem Zusammenhang ist als unwahrscheinlich anzusehen, daß die an der Südwand erkennbare Abstufung des inneren Mauerquerschnittes einen Hinweis auf ein weiteres Baustadium dieses Elementes darstellt.

Die während der letzten Betriebsperiode (I) gültige Schlüsselkurve für die Schwellenhöhe von 1193,74 m ü.M. ist in Abb. 24 enthalten. Weitere Aussagen über die in diesem Abflußbereich auftretenden Wasserspiegelhöhen können nur mit Berücksichtigung der Abflußbedingungen in dem erhaltenen Hauptbewässerungskanal aus dieser Periode gemacht werden (s. dazu Kap. 3.2.4).

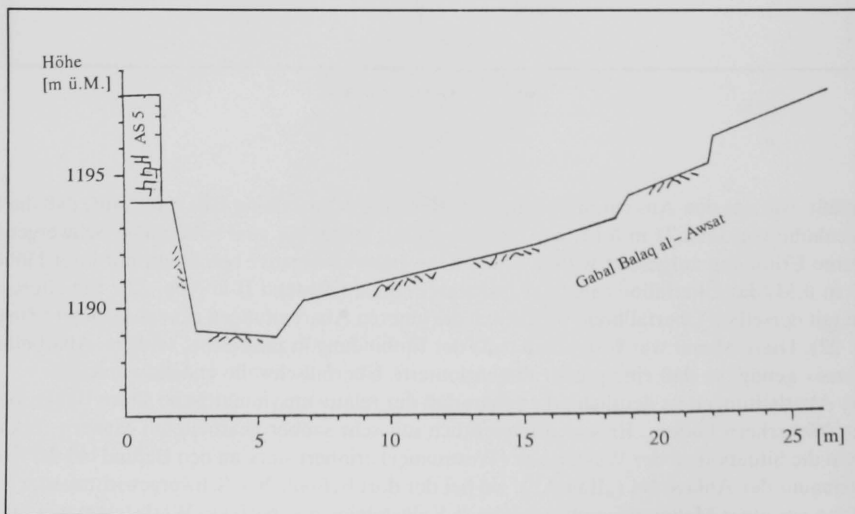


Abb. 25. Profil PS1.

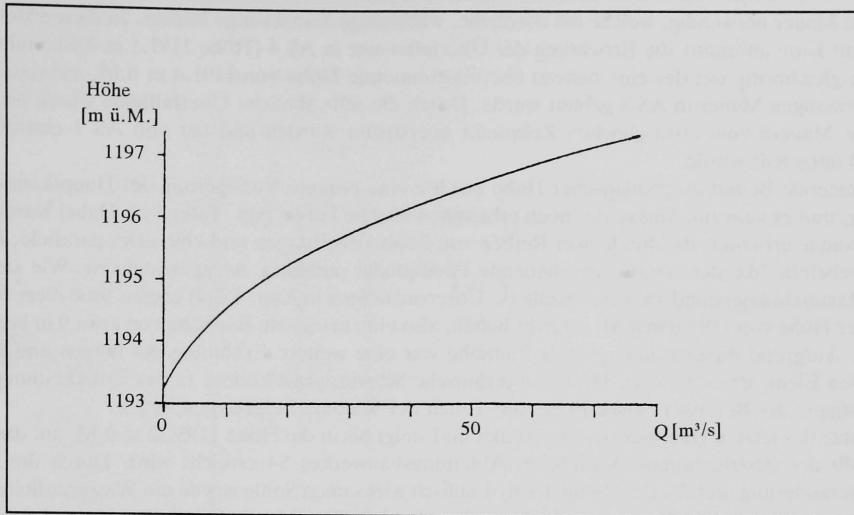


Abb. 26. Schlüsselkurve AS3/PS1.

Es gilt als sicher, daß die heute vorzufindende Situation in den Abflußbereichen den letzten Zustand vor der Aufgabe des Gesamt-Bewässerungsbetriebes wiedergibt. Gerade bei derart massiven Bauelementen sind ansonsten zumindest Überreste der Schwelle erhalten (vgl. AS 1). Die vollständig entfernte Schwelle in AS 4 sowie das Abtragen der Aufbauten des Teilungsbauwerkes AS 5 weisen darauf hin, daß das Wasser planmäßig in das Wadibett eingeleitet wurde, die Südoase also nicht mehr über den Hauptkanal mit Wasser versorgt wurde. Vor allem an der Nordwand mehrfach erhaltene Putzreste zeigen, daß die Seiten des wieder geöffneten Querschnittes durch einen Putzauftrag geglättet waren; wie die Fugen des Mauerwerks waren auch die natürlichen Spalten mit Putzmaterial verschlossen. Die von der Schwergewichtsmauer abgetragenen Steine wurden bei Ausbesserungs- oder Umbauarbeiten an anderen Bauelementen des Südbaus wiederverwendet.

Der südlich des Teilungsbauwerkes AS 5 gelegene Abflußbereich AS 3 entspricht weitgehend einem natürlichen Felsdurchlaß. Der Querschnitt besteht aus einer künstlich geglätteten Nordwand und dem schwach geneigten Felsabhang des Kalkgebirges als südliche Begrenzung.

Bis in die Höhe von 1191,4 m ü.M. sind auch hier Felsarbeiten anzutreffen, die einer Absperung des Durchlasses bis in diese Höhe zugerechnet werden können. Diese Absperung wird allerdings nicht während des letzten Betriebszeitraumes des anschließenden Kanals in Funktion gestanden haben, da die Sohle des jüngsten Kanals nach Verlassen des Südbaus über eine Strecke von etwa 120 m noch ansteigt. Sinnvoll ist die erwähnte Absperung (Schwelle) in Verbindung mit einem Hauptkanal älterer Betriebsphasen.

Zu Beginn der Betriebsperiode I verlief der Hauptkanal zur Südoase jedoch um einige Meter weiter nördlich, die Sohle lag dadurch deutlich tiefer¹²⁸. Auch zu diesem Zeitpunkt war bereits eine hohe,

128 Bei einer Untersuchung des Sedimentanschnittes bei PS5 wurden mehrere Kanalprofile vermessen. Bis auf den jüngsten weisen alle 3 Querschnitte die Spu-

ren einer starken Sedimentation auf. Die ursprünglichen Sohlen liegen um 1,3 m, 4,6 m und 5,1 m tiefer als die Sohle des letzten Profils PS5.

massive Mauer notwendig, welche die nördliche, wadiseitige Kanalwange bildete. In diesen Betriebsabschnitt kann alternativ die Errichtung der Überfallmauer in AS 4 (Höhe 1191,5 m ü.M.) fallen, so daß sie gleichzeitig mit der eine nahezu übereinstimmende Höhe von 1191,4 m ü.M. aufweisenden, großformatigen Mauer in AS 3 gebaut wurde. Durch die sehr ähnliche Überfallhöhe wurde erreicht, daß die Mauern zum etwa gleichen Zeitpunkt überströmt wurden und der von AS 1 eintreffende Abfluß aufgeteilt wurde.

Der steigende Bedarf an geodätischer Höhe machte eine erneute Verlagerung des Hauptkanals notwendig, und es kam zur Anlage der noch erhaltenen letzten Trasse (vgl. Tafel 5 c). Dabei wurde eine Kanalwange errichtet, die durch zwei Reihen von Felsarbeiten und eine etwa parallele, künstliche Felsrinne, die der Abstützung dienende Pfahlquader aufnahm, nachgewiesen ist. Wie sich aus dem Maximalwasserstand an dieser Stelle (s. Untersuchungen in Kap. 3.2.4) ergibt, muß diese Mauer etwa die Höhe von 1198,0 m ü.M. erreicht haben, also eine maximale Bauhöhe von etwa 9 m besessen haben. Aufgrund dieser relativ großen Bauhöhe war eine weitere Erhöhung des langen und relativ schmalen Elementes schwierig. Diese bautechnische Schwierigkeit könnte zu der Entscheidung über die Aufgabe des Bewässerungsbetriebes auf Teilen der Südoase beigetragen haben.

Die Sohle des letzten Hauptkanals ist verputzt und steigt bis in die Höhe 1193,22 m ü.M. an, die etwa oberhalb der Abarbeitungen des älteren Ableitungsbauwerkes S4 erreicht wird. Durch die letzte Kanalveränderung und die Erhöhung der hydraulisch wirksamen Sohle wurde die Wasseraufleitung in der Gesamtanlage sehr zuungunsten des Hauptkanals verändert. Man behob diesen Mangel durch die Erhöhung der Überlaufschwelle in AS 4 um den Betrag von 2,24 m, der durch die höchsten Abarbeitungen dokumentiert ist.

In der Nähe der Anlage S4 befinden sich Felsarbeiten, die auf einen seitlichen Auslaß (Überlauf) aus einem Kanal einer älteren Betriebsphase hindeuten.

3.2.4 Hydraulische Bedingungen an den Auslaßbereichen

An dem Teilungsbauwerk AS 5 trat der jüngste, zur Südoase führende Hauptkanal aus dem Tosbeken aus, der anhand von Überresten identifiziert werden kann. Die Kanalsohle hat am Beginn (Profil PS1) eine Höhenlage von 1189,0 m ü.M., sie steigt im Verlauf des verputzten Kanalunterbaus bei Profil PS2 (1190,6 m ü.M.) bis zur größten Höhe von 1193,22 m ü.M. bei PS4 an. Auf dieser gesamten Strecke wird die nördliche Kanalwandung durch eine Mauer gebildet. Erst bei einem etwa 120 m entfernten Sedimentblock ist der Kanal als Sedimentprofil PS5 erkennbar, die Sohlhöhe beträgt dort 1192,60 m ü.M.. Der Längsschnitt durch die Sohle mit den entsprechenden Querprofilen ist in Abb. 27 zusammengestellt.

Da der Kanalquerschnitt in dem betrachteten Abschnitt große Veränderungen aufweist, ist für eine hydraulische Abflußermittlung von einer stationären, ungleichförmigen Bewegung auszugehen. Bei diesem Fall ist die Wasserspiegellage in jedem Querschnitt unveränderlich, jedoch ändern sich die mittleren Geschwindigkeiten. Die Berechnung der Stau- bzw. Senkungslinien erfolgt mit Hilfe eines schrittweisen, iterativen Verfahrens, wobei das Gerinne in Abschnitte unterteilt wird, in denen die Bewegung hinreichend genau als gleichförmig angesehen werden kann¹²⁹.

Eine Schlüsselkurve steht nur für den benachbarten Auslaßquerschnitt AS 4 zur Verfügung, wobei bezüglich der Verhältnisse während der Periode I die Überfallmauer in AS 4 mit einer Höhe von 1193,74 m ü. M. angenommen wird. Um die tatsächlichen Abflüsse in AS 4 („Hochwasserentlastung“) und in AS 3 (Hauptkanal) ermitteln zu können, muß der Wasserstand in AS 4 in Abhängigkeit

129 vgl. M. Schmidt, Gerinnehydraulik (1957) 69 ff.

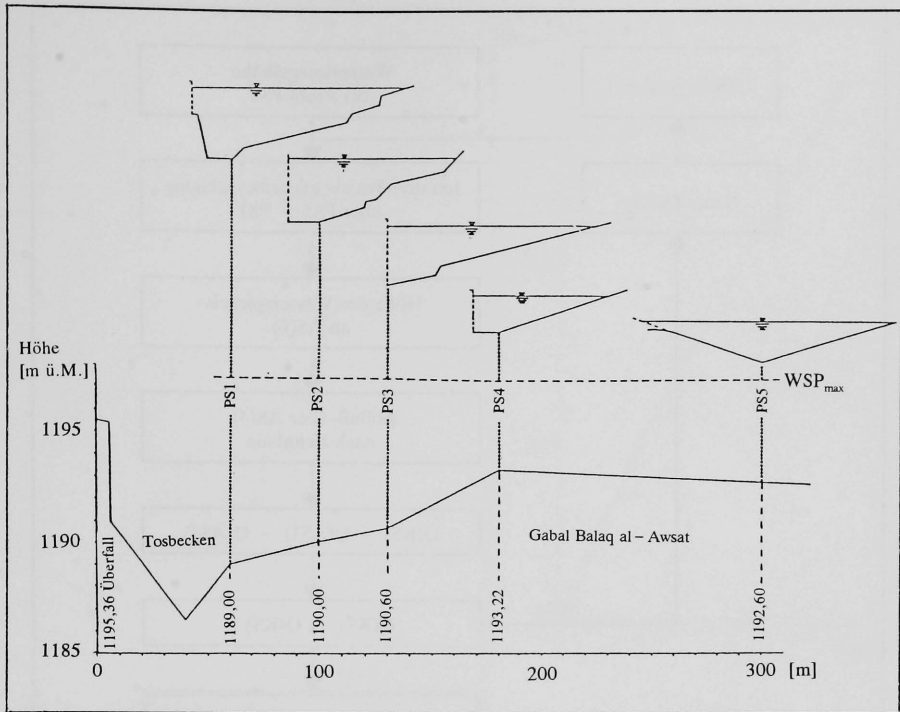


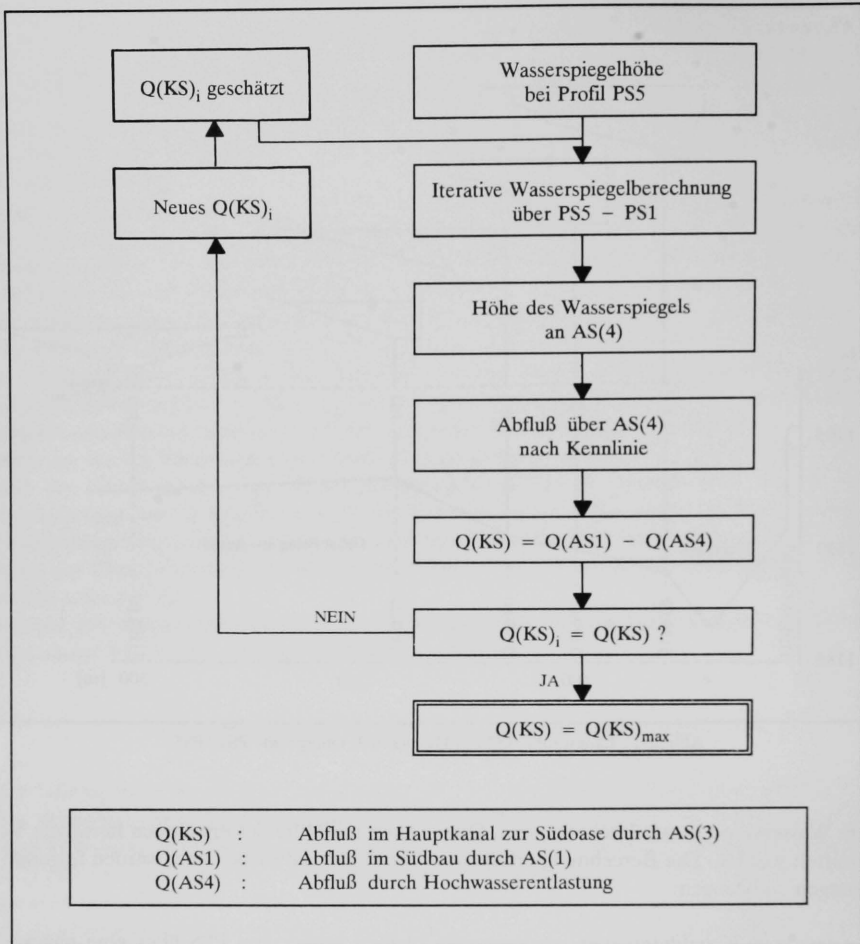
Abb. 27. Längsprofil AS3 mit Hauptkanal, Querprofile PS1–PS5.

von dem Wasserstand in AS 3 bekannt sein. Dieser kann mit Hilfe des erwähnten iterativen Verfahrens ermittelt werden. Die Berechnung erfolgt vom Profil PS5 aufwärts, dabei werden folgende Voraussetzungen einbezogen:

- die relevanten Kanaldaten und -abmessungen bleiben östlich von PS5 über eine angemessene Strecke unverändert,
- der Maximalwasserspiegel in PS5 wird anhand von Untersuchungen eines Sedimentblockes¹³⁰ mit der Höhe 1197,20 m ü.M. angesetzt,
- für die betrachtete Strecke beträgt der Geschwindigkeitsbeiwert¹³¹ $k_s = 40$,
- der Kanalquerschnitt zwischen den einzelnen Profilen ändert sich jeweils stetig (Verengung bzw. Erweiterung ohne Sprünge),
- die durchflossenen Querschnitte sowie die benetzten Umfänge für verschiedene Wasserspiegelhöhen sind den Querprofilen PS1 – PS5 zu entnehmen.

¹³⁰ vgl. die Ausführungen von W. Wagner in Radermacher u. a., Technologie, 254ff..

¹³¹ nach Bretschneider, Hilfstafeln, 49.

Abb. 28. Ermittlung des Abflusses $Q(KS)$.

Der Ablauf der Berechnung ist in Abb. 28 schematisch dargestellt. Zunächst wird ein Wert für den maximalen Abfluß im Hauptkanal $Q(KS)$ geschätzt. Damit kann über die Staulinienberechnung der Wasserstand bei dem Profil PS1 ermittelt werden. Aus der Schlüsselkurve für den Auslaßbereich AS4 erhält man für diesen Wasserstand einen Wert für den Abfluß $Q(AS4)$. Der Abfluß im Kanal $Q(KS1)$ ergibt sich als Differenz zwischen dem Maximalabfluß im Durchlaß AS1 und dem Abfluß $Q(HWE)$. Solange $Q(KS1)$ nicht mit dem geschätzten $Q(KS)$ übereinstimmt, sind weitere Iterationsschritte durchzuführen.

Für den maximalen Wasserspiegel bei PS1 erhält man aus der Berechnung einen Wert von 1197,41 m ü.M.. Dies entspricht Abflüssen im Hauptkanal $Q(KS) = 77 \text{ m}^3/\text{s}$ und in der „Hochwasserentlastung“ $Q(AS4) = 73 \text{ m}^3/\text{s}$ bei dem für die Aufteilung zur Verfügung stehenden Betrag von

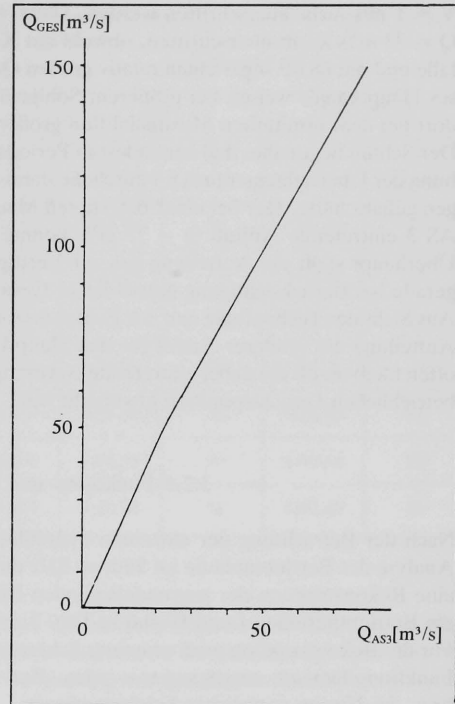


Abb. 29. Verhältnis der Abflüsse in AS1 und AS3.

$Q_{\max} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ im Auslaß AS1. Mit Hilfe der geschilderten Vorgehensweise kann für jeden beliebigen Abfluß die Aufteilung am Südbau ermittelt werden. Der in den Hauptkanal eingeleitete Abfluß in Abhängigkeit von dem Gesamtdargebot im Südbau S1 ist in Abb. 29 dargestellt.

Es stellt sich heraus, daß alle auftretenden Abflüsse zu etwa gleichen Teilen zwischen Hauptkanal und Hochwasserentlastung aufgeteilt wurden. Da ein beträchtlicher Anteil regelmäßig in das Wadi geleitet wurde, kann als sicher angenommen werden, daß dieses Wasser gewässerabwärts dem Wadi wieder entnommen wurde und zur Bewässerung östlich gelegener Flächen – wahrscheinlich Teilbereiche der Südoase – verwendet wurde.

Das Verhältnis der Wasseraufteilung in der Südbauanlage S1 kann zugunsten des zur Südoase führenden Hauptkanals verändert werden, indem der Querschnitt des Abflußbereiches AS 4 verringert wird. Allerdings ist eine derartige Veränderung nur durch das schichtenweise Auflegen von Steinquadern möglich, da innerhalb von AS 4 keine Abarbeitungen in einer größeren Höhe als 1193,74 m ü.M. vorhanden sind. Entsprechende Berechnungen ergeben, daß ein vorgegebener Abfluß im Kanal von $Q_{\text{soll}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ eine Erhöhung des Überfallwehres in AS 4 auf 1194,67 m ü. M. erfordert. Diese Erhöhung um etwa 1 m kann mit Hilfe unbefestigter Steinlagen realisiert worden sein.

Als sehr problematisch ist die Transportkapazität des anschließenden, zur Südoase führenden (Erd-) Hauptkanals anzusehen. Im Zuge der weiteren Fließstrecke besteht das Kanalbett vollständig aus Sedimenten; um Erosionsschäden zu vermeiden, darf eine zulässige Grenzgeschwindigkeit¹³² von etwa

¹³² nach Bretschneider, Hilfstafeln, 51.

$V = 1$ m/s nicht überschritten werden. Diese wird bereits an dem Kanalprofil PS5 bei dem Abfluß $Q = 77$ m³/s leicht überschritten, obwohl der Kanal an der betreffenden Stelle ein geringes Längsgefälle und mit 68 m² sogar einen relativ großen Querschnitt besitzt. Alle übrigen bekannten Profile dieses Hauptkanals weisen bei größerem Sohlgefälle geringere durchflossene Querschnitte auf, so daß dort bei dem ermittelten Maximalabfluß größere Geschwindigkeiten auftraten.

Der Schluß liegt nahe, daß zumindest in Perioden maximalen Wasserdargebots eine zusätzliche Erhöhung der Überfallmauer in AS 4 durch die dann vergrößerten Abflüsse im Hauptkanal ungünstige Folgen gehabt hätte. Der bei einer befestigten Mauer (in der „Hochwasserentlastung“) in den Kanal bei AS 3 eintretende Abfluß $Q = 77$ m³/s konnte von Bauwerken und Hauptkanal bewältigt werden. Überhaupt stellt die Aufteilung des zur Verfügung stehenden Wassers zu gleichen Teilen auch und gerade bei Berücksichtigung betrieblicher Gesichtspunkte eine zweckmäßige Lösung dar.

Aus Sicht der Technologie und der Funktionsabläufe wäre zu Zeiten mit geringerem Dargebot bei der Aufteilung ein größerer Anteil für den Hauptkanal problemlos realisierbar gewesen. Es mag dabei offen bleiben, ob die dabei eintretende Bevorzugung des Westteils der Südoase aus landwirtschaftlich-betrieblichen Gesichtspunkten erwünscht war.

3.2.5 Funktions- und Bauphasen der Anlage S1/2

Nach der Betrachtung der einzelnen hydraulischen Funktionselemente ist zu einer weitergehenden Analyse der Betriebsabläufe im Südbau S1/2 die zusammenfassende Gesamtschau erforderlich. Auch eine Rekonstruktion der zugrundeliegenden Bauphasen ist so möglich. Die wesentlichen Zahlen für die Betriebsperioden I und II sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Für die Rekonstruktion muß von einer Schätzung der ehemaligen Bauwerksoberkanten der einzelnen Funktionselemente ausgegangen werden. Zur Orientierung dienen dabei Schichten im Mauerwerk bzw. das Niveau natürlicher Felsformationen.

Die Überlegungen für die Betriebsperiode I bauen auf der Kronenhöhe des letzten Absperddammes bei 1202,60 m ü.M. auf. Dabei konnten durch den Auslaß AS 1 maximal 150 m³/s abgeleitet werden. Berücksichtigt man die Möglichkeit einer temporären Schwellenerhöhung in AS 1 und die Variationen der Auslässe AS 3 und AS 4, ergeben sich 4 plausible Kombinationen, welche kennzeichnend für Phasen innerhalb der Betriebsperiode I sind. Für die Rekonstruktion in dem hydraulisch gemeinsam zu betrachtenden Auslaßbereich AS 3 / AS 4 wurde eine sinnvolle Aufteilung der Abflüsse angenommen. Für die letzte Betriebsphase 4 der Periode I wurde angenommen, daß der Gesamtabfluß am Südbau wieder in das Wadibett eingeleitet wurde. Ein vollständiger Verschuß von AS 1 und damit des Südbaus, wie er für einen kürzeren Zeitraum angenommen wird, ist zwischen den Phasen vorstellbar. Aus den Wasserspiegelniveaus der Phasen kann die erforderliche Mindesthöhe der einzelnen Bauelemente abgeleitet werden, so daß auch Aussagen über die aufeinander folgenden Bauphasen möglich sind. Die Rekonstruktion der Verhältnisse während der Betriebsperiode II beruht auf dem Maximalabfluß von $Q_{\max} = 120$ m³/s, die durch den von einem Felsprofil gebildeten Auslaß AS 1 vorgegeben wird. Für den Hauptkanal ist zu erwarten, daß die Sohle zwischen den Stationen PS3 und PS4 nicht den starken Anstieg der Periode I aufwies. Eine funktionelle Verbindung dieses Kanals mit den in diesem Bereich vorhandenen umfangreichen Felsarbeiten auf dem Felshang¹³³ kann vermutet werden. Bei einem Vergleich mit den Bauelementen des Südbaus S1 zeigt sich, daß die Höhen gut mit den höchsten Wasserständen harmonisieren, die sich während der Phase I/2 bei einem Maximalabfluß von $Q_{\max} = 150$ m³/s einstellen. Dadurch wird die Plausibilität der Rekonstruktion nochmals betont.

133 Eine Skizze der Abarbeitungen enthält J. Dayton, PSAS 9, 1979, 128f.

Tab. 2 Kennzahlen der Funktionsphasen der Anlage S 1/2 (h_{wsp} : Wasserspiegelniveau, h_{schw} : Schwellenniveau, Q: Abfluß).

Periode	Phase	AS 1			Auslaßbereich AS 3/AS 4				
		h_{wsp} [m ü.M.]	h_{schw} [m ü.M.]	Q [m³/s]	h_{wsp} [m ü.M.]	AS 4		AS 3 (PS 1)	
						h_{schw} [m ü.M.]	Q [m³/s]	h_{schw} [m ü.M.]	Q [m³/s]
I	1	1202,60	1195,56	150	1195,52	1191,50	83	1191,40	67
	2	1202,60	1195,56	150	1197,41	1193,74	73	1193,22	77
	3	1202,60	1197,36	95	1196,50	1193,74	50	1193,22	45
	4	1202,60	1195,56	150	1193,70	1186,00	150	1193,22	0
II	1	1197,30	1191,00	120	1194,59	1191,50	52	1190,60	68
	2	1197,30	1192,10	90	1194,00	1191,50	40	1190,60	50
					1194,51	1191,50	51	1191,40	39

Eine Hilfe bei der Rekonstruktion des älteren Südbaus S2 der Betriebsperiode II bildet die größte Wasserspiegelniveau von $h_{wsp} = 1194,59$ m ü.M., die sich vor und in dem Durchlaßbereich AS3/AS4 bei einem Maximalabfluß $Q_{max} = 120$ m³/s einstellt. In Verbindung mit den Bauwerksanalysen ist auch diese Variante sehr plausibel.

3.3 ABSPERRDAMM

Von dem Absperrramm AE sind nur wenige Teile erhalten: die Anbindung an den Nordbau N1 und von Erosion verschonte Teile im Trassenverlauf bis an den heutigen Rand des Wadis. Wesentliche Teile des Absperrrammes AE existieren also nicht mehr (Anbindung an den Südbau S1, Trasse und konstruktive Gestaltung im Wadibereich). Dennoch steht fest, daß der Damm in der letzten Betriebsperiode in seinen Dimensionen (Kronenlänge > 600 m, größte Höhe ca. 20 m) alle Sperren der Antike bei weitem überragte. Diese außerordentliche Größe und die Möglichkeit der einfachen Erhöhung mag als Grund dafür anzusehen sein, daß bis zur Aufgabe an der bewährten Form eines Erddammes festgehalten wurde.

Eine vollständige Rekonstruktion dieses Funktionselementes muß aus vorhandenen Überresten und plausiblen funktionellen Zusammenhängen abgeleitet werden.

3.3.1 Trasse

Die Trasse des Absperrrammes AE der Periode I folgte der aus Abb. 10 zu entnehmenden Linienführung. Die Dammkrone war an das höchste Element des Südbaus S1, das Anschlußbauwerk AS 2, konstruktiv angebunden. Die Trasse verlief von diesem Anbindungspunkt in nördlicher Richtung bis in

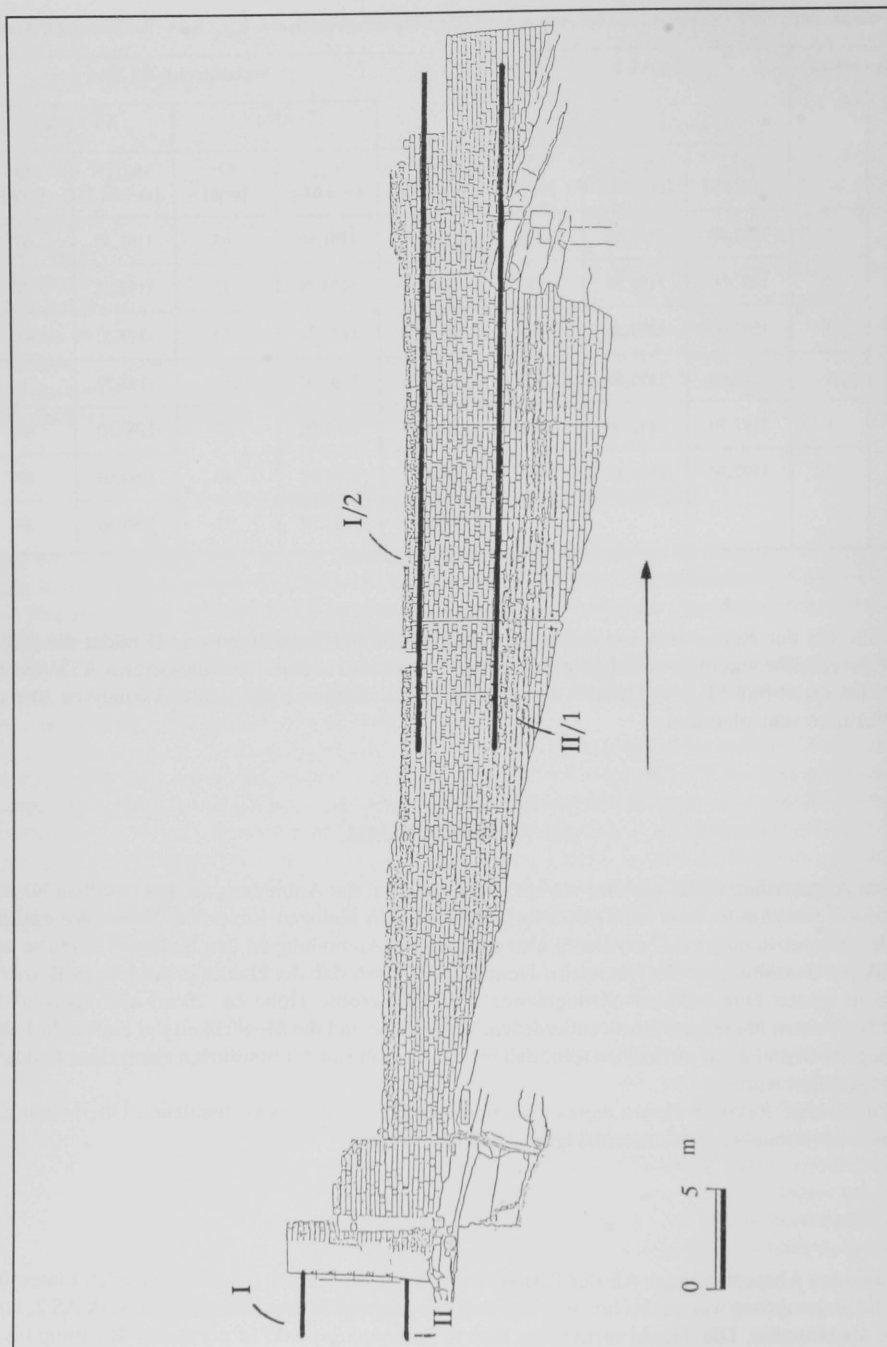


Abb. 30. Ansichten des Südbaus S1/2 mit Maximalwasserspiegeln – Perioden I und II.

den Bereich N2, wo der Dammverlauf eine Unregelmäßigkeit aufweist, um dann nach Westen bis zu der Anbindung an den Nordbau AN 3 abzuschwenken. Der Dammverlauf wurde bereits von Glaser, Albright/Bowen und Dayton¹³⁴ entsprechend beschrieben. Auch Brunner¹³⁵ hat das Thema ausführlich behandelt.

Die Anbindung der Krone des Erddammes erfolgte mit Sicherheit im Bereich des höchsten Bauwerks- teils von AS 2 (s. Abb. 16).

Die Grundrißkonzeption des westlichen Teils von AS 2 mit dem auskragenden Mauergrundriß stellt eine optimale Lösung für die Dammanbindung dar. Der erosions- und sickerströmungsgefährdete Bereich wurde wasserseitig durch den Mauervorsprung abgesichert.

Bei einer Verschneidung der westlichen Dammböschung mit dem Bauelement AS 2 des Südbaus und dem anstehenden Fels mündet die entstehende Linie exakt im Bereich eines Überrestes der Damm- stickung. Dieser Stickungsrest ist bereits bei Albright/Bowen als „preserved dam facing“ zu erken- nen¹³⁶ (s. Tafel 7 a). Er ist allerdings gemäß der Rekonstruktion dem Absperrdamm AE der Periode I zuzuordnen und nicht einem Damm einer älteren Kulturperiode mit einem um etwa 7 m niedrigeren Kronenniveau. Die wasserseitige Böschung war westlich um den Südbau S1 herumgeführt, so daß die Felsformationen, auf denen S1 gegründet ist, während der Betriebsperiode I nicht sichtbar waren.

Eine direkte, senkrecht in der Trasse liegende Dammanbindung ist sicherlich plausibler als die von Brunner vermutete, die am Südbau S1 analog zu den Verhältnissen am Nordbau N1 eine konvexe Krümmung der Dammtrasse beinhaltet. Man kann unterstellen, daß die zeitgenössischen Ingenieure aufgrund ihrer akkumulierten Erfahrung die Konzeption von hydrostatisch günstigen Dammtrassen, die möglichst kurz und nicht konvex im Bereich des höchsten Stau- und Potentialdruckes waren, beherrschten¹³⁷.

Bei der Konzipierung des Nordbaus bestanden für die höhen- und damit auch lagemäßige Auswahl des Standortes Zwangspunkte. Aufgrund der natürlichen Bedingungen der anstehenden Felstopographie kam nur der gewählte Standort in Frage. Einzige theoretisch mögliche Alternative wäre ein am Wadi- rand gelegener Felsvorsprung gewesen; die dort erforderliche, ungewöhnlich aufwendige Wasserbau- konstruktion erweist rasch den hypothetischen Charakter dieser Alternative.

Mit der Vorgabe von Zwangsbedingungen für den Standort mußte sich bei Berücksichtigung eines hydraulisch günstigen, breiten Anströmbereiches die Trassenführung des Dammes von selbst abzeich- nen. Die im Zusammenhang mit der Anbindung an den Südbau genannten Gefahrenmomente konn- ten hier wegen ausschließlich dammparalleler Strömung vernachlässigt werden.

Der von Brunner angegebene Vorteil, daß bei seiner Dammrekonstruktion der Auslaß des Südbaus nicht im Verlauf einer direkten Strömung gelegen hätte, ist bei Betrachtung der Staumorphologie und des damit verbundenen Strömungsverhaltens nicht erkennbar. Sowohl zu Beginn der Betriebspe- riode I nach der Dammerhöhung als auch nach weitgehender Aufsedimentierung am Ende dieser Peri- ode lag unabhängig von der Führung der Dammtrasse immer der Wehrauslaß des Südbaus im Strom- strich- bzw. Pralluferbereich. Daß Beschädigungen am Damm mehrfach gerade von der Dammanbin- dung ausgegangen sind, wird durch die von Glaser überlieferte, volkstümliche Bezeichnung des Süd- baus „Marbat ad-dimm“ (Anbindeplatz der Katze)¹³⁸ unterstrichen.

134 vgl. Glaser, Reise, Karte 4; Albright – Bowen, Dis- coveries, Abb. 82; Dayton, a. O. 129.

135 vgl. Brunner, Erforschung, 97 f., Abb. 29.

136 vgl. Albright – Bowen, Discoveries, 72 f., Abb. 89.

137 Bei einer Rekonstruktion der Trasse nach dem Vor- schlag Brunners müßte sich in der Nähe der südlich- sten erhaltenen Dammreste in der Nähe von N3 eine

Unregelmäßigkeit bzw. ein Knick der Dammtrasse ergeben (vgl. Brunner, Erforschung, Abb. 29). Die Felduntersuchungen haben allerdings keinerlei Hin- weis auf eine derartige Besonderheit ergeben.

138 vgl. Glaser, Reise, 51. Diese Katze sollte der Sage nach verhindern, daß Mäuse den Damm unterwühl- ten und instabil machten.

Der Absperrramm AE ist vermutlich als letzter in einer Folge das Wadi absperrender Dämme anzusehen. Auch die Dämme früherer Perioden verliefen wohl auf derselben Trasse, so daß der jeweils neueste Damm im wesentlichen als Ergebnis einer Erhöhung zustandekam. Auch bei Reparaturen als Folge von Beschädigungen oder Zerstörungen des Dammkörpers wurde die Konzeption in gleicher Weise genutzt. Eine Verbesserung stellte lediglich die Einführung der Dammstickung dar. Alle bekannten Versagensereignisse bestehen im wesentlichen aus der vollständigen bzw. teilweisen Zerstörung des Erddammes. Aufgrund seiner massiven, den Erfordernissen angepaßten Konstruktion blieb der Südbau S1 stets unbeschädigt. Es ist kaum möglich, das Funktionselement „Westpfeiler des Südbaus“ als „schwach gebaut“¹³⁹ zu bezeichnen.

Die Dammkrone der Betriebsperiode II schloß um einige Meter weiter östlich am Bauteil AS2 des Südbaus an. Der monumentale Westpfeiler stammt im wesentlichen aus der Periode I. Die Erhöhung des Erddammes bei dem Übergang von Periode II zu Periode I geschah durch einen Materialauftrag auf der Wasserseite mit Anbringung der Stickung.

3.3.2 Querschnitt und konstruktive Gestaltung

Aus den erhaltenen Überresten ist eine Rekonstruktion des Absperrrammes mit Aussagen über den Dammquerschnitt und die konstruktive Gestaltung möglich (s. Tafel 6). Wenn das Querprofil des Wadis zu der Zeit des Dammbaus dem heutigen entsprach, hätte der Absperrramm während der Betriebsperiode I eine maximale Höhe von etwa 20 m besessen. Auf den während der Feldarbeiten

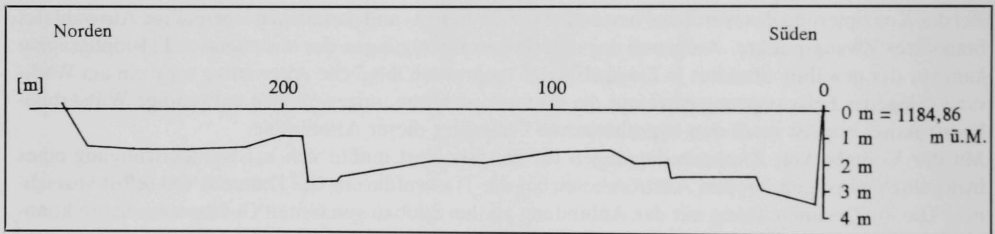


Abb. 31. Schnitt durch das Wādī Dana am Südbau.

erstellten Querprofilen der erhaltenen Dammüberreste ist die Böschungsneigung von 1 : 1,8 erkennbar. Aus den Profilen, die vor allem auf der Wasserseite gut erhalten sind, wird deutlich, daß der Damm im unteren Böschungsbereich eine flachere Neigung (etwa 1 : 3) aufwies. Diese Abstufung kann auch für die Rekonstruktion der Landseite angenommen werden. Der Sinn einer derartigen Abflachung des Dammfußbereichs liegt in Gründen der Erdstatik und der Verhinderung der zerstörenden Wirkung von Sickerströmungen. Auch Gesichtspunkte hinsichtlich der bautechnischen Arbeitsabläufe im Rahmen der Erstellung von geschütteten Erddämmen können eine Rolle gespielt haben. Nach dieser Rekonstruktion besaß der Damm eine maximale Basisbreite von etwa 96 m.

¹³⁹ vgl. Brunner, Erforschung, 98.

Das Erdmaterial der Dammschüttung ist wegen der häufigen Veränderungen (Wiederaufbau, Erhöhungen) relativ heterogen. Teilweise ist im inneren Aufbau eine Schichtung deutlich erkennbar. Das Schüttmaterial setzt sich aus dammnahen Bewässerungssedimenten zusammen, große Anteile entstammen den Staumaterialsedimenten. Die Wasserseite und der Kronenbereich waren mit einer Steinstickung versehen, die konstruktiv der Stickung im Tosbecken und im Hauptzuleitungskanal entsprach. Von dieser Stickung sind in direkter Nachbarschaft zum Nordbau N1 und in den Dammschnitten exemplarische Teile erhalten. Die Annahme, daß der Damm zusätzlich mit Mörtel abgedeckt war, ist aufgrund der erhaltenen Überreste nicht nachweisbar¹⁴⁰.

Die Beobachtung von Dequin, daß der sabäische Damm im Jahre 1960 im Wadi noch 7–8 m hoch gewesen sei¹⁴¹, kann sich nur auf den bis heute erhaltenen Dammrest am nördlichen Ufer (s. Tafel 5 d) beziehen. Aufgrund der Hochwasserabflüsse ist es ausgeschlossen, daß im Wadi Bett irgendwelche Überreste bis in die Neuzeit Bestand gehabt hätten. Auch Dayton schließt aus diesem Dammrest fälschlich auf eine maximale Basisbreite des Dammes von 16 m¹⁴².

3.3.3 Stauraum

Der Stauraum wurde in der antiken Betriebszeit nicht als Speicher aufgefaßt, da der Damm ausschließlich der Erhöhung des Wasserspiegels an den Ableitungsbauwerken diente. Für einen differenziert und längerfristig nutzbaren Speicher gibt es keine Anzeichen. Die Ableitung mit Hilfe eines Grundablasses, wie ihn Schoch bei seiner Deutung der Anlage voraussetzt¹⁴³, ist wohl nicht nachweisbar. Das Bauwerk, „das erst 1960 aus dem Sande in der Talachse unterhalb des Dammes auftauchte und im harten Gestein zahlreiche tief eingeprägte Spuren fließenden Wassers zeigt“¹⁴⁴, belegt nicht die Existenz eines Grundablasses; vielmehr handelt es sich dabei mit Sicherheit um die Überreste der Anlage N4 (Bau A) (s. Kap. 4.2).

Die Annahme eines ganzjährigen Bewässerungsbetriebes¹⁴⁵ widerspricht allen heutigen Erkenntnissen der Funktionsweise des Gesamtsystems Märüb. Die Speicherung relativ geringer Wasservolumina wurde mit Hilfe spezieller Zisternen innerhalb der Siedlungen und Landwirtschaftsflächen durchgeführt. Überreste entsprechender Bauelemente sind auf den Oasenoberflächen an mehreren Stellen vorzufinden. Der Einsatz von Zisternen ist im übrigen bis heute im Jemen weit verbreitet.

Obwohl konzeptionell nicht bewußt vorgesehen, wirkte der Stauraum dennoch als Retentionsraum, mit dessen Hilfe die Abflußspitzen gekappt wurden. Besonders nach Dammerhöhungen und nach Sedimentausträumungen (als Folge von Dammbrüchen) war ein nennenswertes Retentionsvolumen vorhanden, so daß die Sicherheit des Gesamtsystems nicht immer gleich war.

In den Staumaterialsedimenten wurden von Brunner¹⁴⁶ vier wesentliche Diskordanzen festgestellt, die auf durch Dammbrüche verursachte Sedimentausträumungen schließen lassen. Allerdings haben sich während der Betriebsperiode I nicht nur vier Dammbrüche ereignet; vielmehr ist anzunehmen, daß wesentlich mehr Dammbrüche mit Sedimentausträumungen stattgefunden haben. Die 4 Diskordanzen

140 vgl. B. Doe, Südarabien (1975) 81; Dequin, *Republik*, 132.

141 vgl. Dequin, *Republik*, 132.

142 vgl. Dayton, a. O. 124.

143 vgl. R. Schoch, *Geographica Helvetica* 1978, 128.

144 vgl. F. Vinck, *Wasser und Boden* 1962, H. 10, 355.

145 Vinck lehnt es ab, daß der Absperrdamm der Periode I lediglich der Anhebung des Wasserspiegels diene. Vgl. ebd.

146 vgl. Brunner, *Erforschung*, Abb. 20-23.

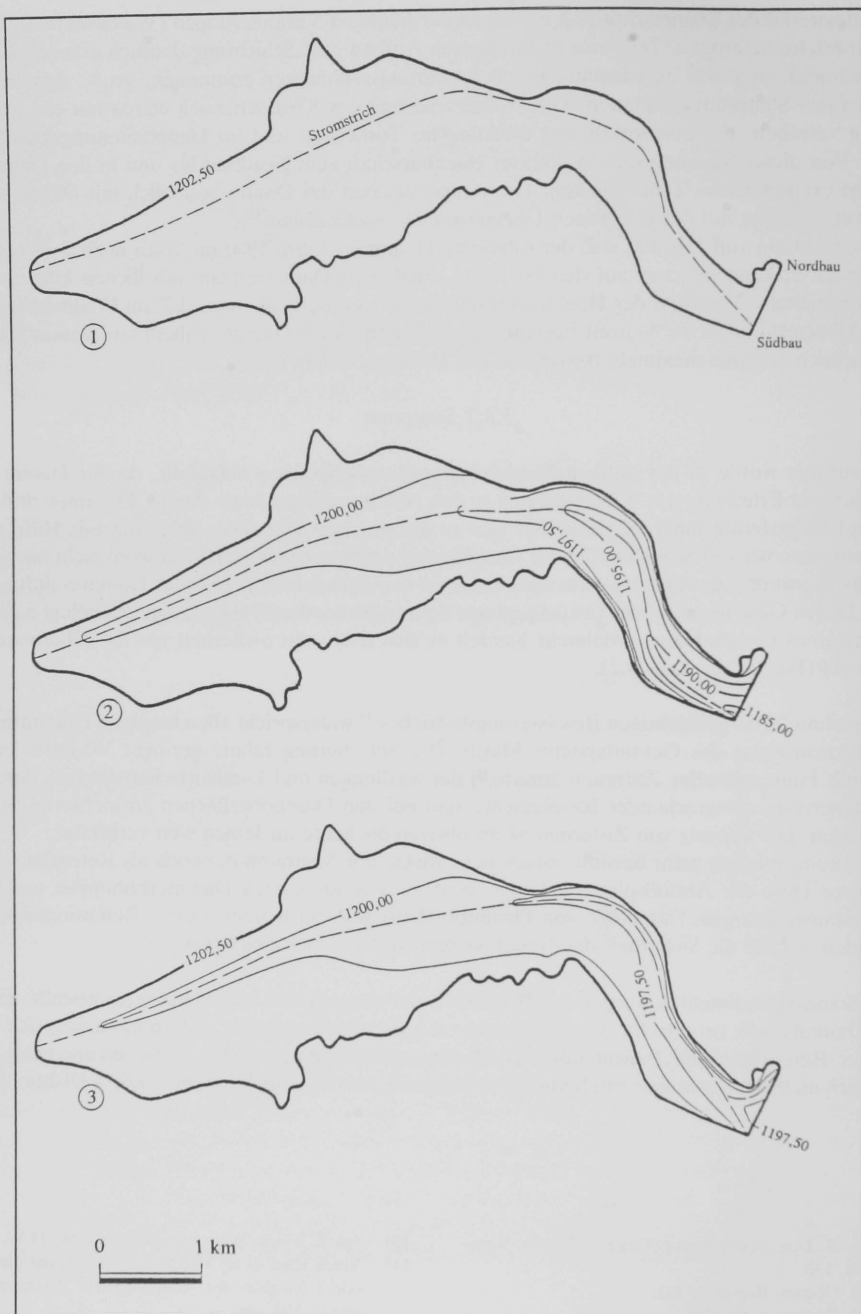


Abb. 32. Morphologie verschiedener Stauraumvarianten.

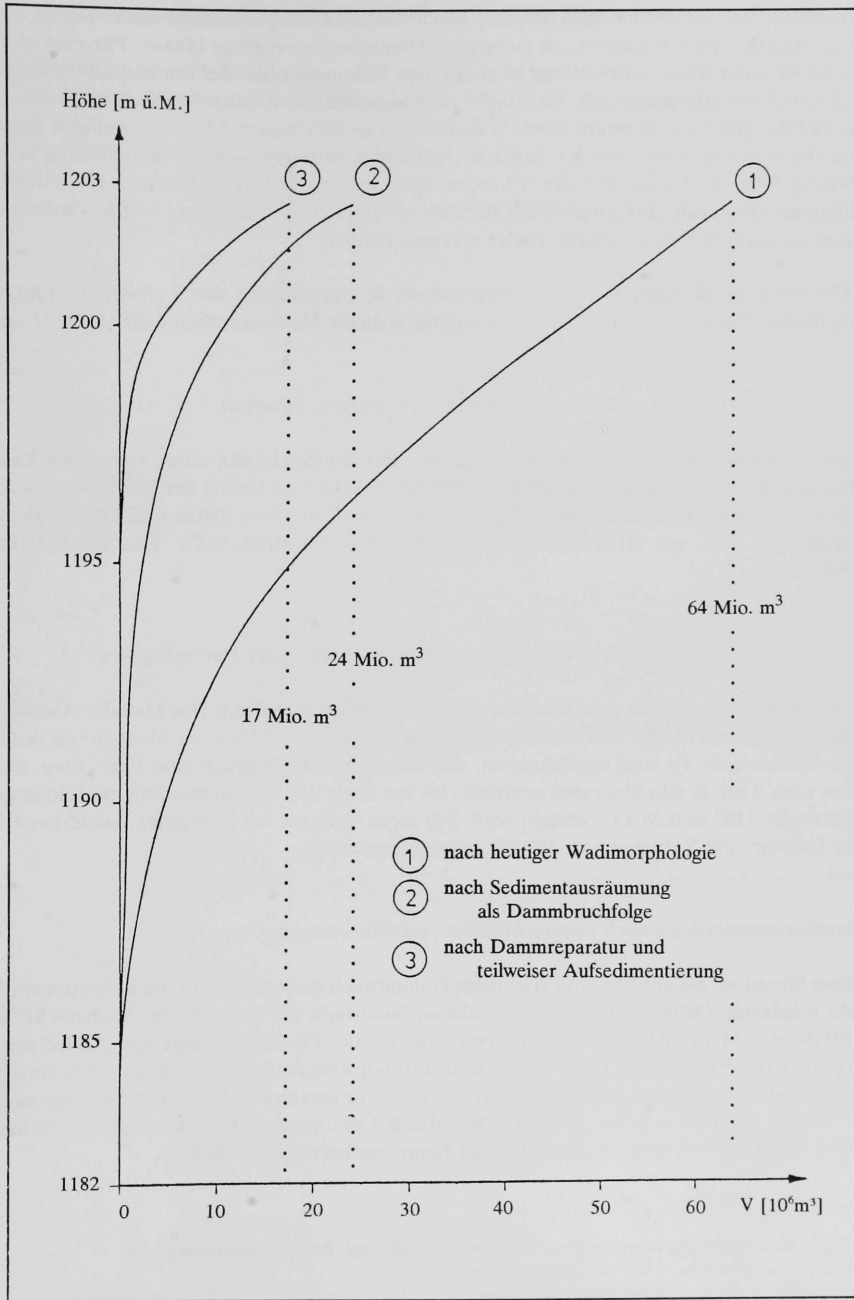


Abb. 33. Kennlinien verschiedener Stauraumvarianten.

sind den größten und vermutlich auch jüngsten Hochwasserkatastrophen zuzuordnen. Deren Ausräumung ging über den Diskordanzbereich geringerer Dambruchereignisse hinaus. Für eine quantitative Abschätzung der Retentionswirkung ist eine grobe Rekonstruktion der Stauraummorphologie zu verschiedenen Zeitpunkten hilfreich. Mehrfache Ausräumungen sind wahrscheinlich, wobei die Randbereiche und die Toträume permanent mit Sedimenten angefüllt waren. Mit der jeweiligen Verringerung des Stauraumvolumens und der damit verbundenen, geringeren Retentionswirkung stieg die Dambruchgefahr. Nach Eintritt eines Schadens, Ausräumung von Sedimenten und Wiederaufbau des Erddammes stand zunächst ein größeres Retentionsvolumen zur Verfügung, welches jedoch durch Sedimentationsvorgänge im Stauraum wieder verringert wurde.¹⁴⁷

Einem Überblick der Retentionsmöglichkeiten soll die Rekonstruktion von 3 typischen Stauraumsituationen dienen. Topographie und Speicherkennlinien dieser Varianten zeigen die Abb. 32 und 33.

–1– *Stauraummorphologie unter Zugrundelegung der heutigen Situation*

Diese Situation repräsentiert in bezug auf die Retentionswirkung einen optimalen Zustand. Bezogen auf einen Stauwasserspiegel von 1202,60 m ü.M. (...) besitzt der Stauraum eine Oberfläche von 8 km², eine Länge von 9 km und eine Breite zwischen 350 m und 1300 m. Bei einer maximalen Tiefe von 20 m beträgt das Gefälle im Stromstrich 0,2%. Das Gesamtvolumen umfaßt 64×10^6 m³.

–2– *Stauraummorphologie nach Sedimentausräumung als Folge eines Dambruches*

Dabei handelt es sich um eine Situation mit mittleren Eigenschaften. Das Maß der Ausräumung hängt sowohl von Menge und Zusammensetzung der Stauraumsedimente als auch von der Höhe des Abflusses ab. Es wird angenommen, daß durch den Dambruch eine Vertiefung, die sich über etwa 4 km in den Stauraum erstreckt, bis zur Basis der Stauraumsedimente (Höhe an der Sperrstelle 1182 m ü.M.) verursacht wird. Für diese Variante wird nach der Wiederherstellung des Dammes ein Volumen von 24×10^6 m³ angenommen.

–3– *Stauraummorphologie nach fortgeschrittener Aufsedimentierung*

Diese Situation, die den Zustand vor einem Dambruch darstellt, ist für die Retentionswirkung sehr ungünstig. Dabei ist das gesamte Volumen unterhalb der Schwelle des Südbaus S1 (Höhe 1195,56 m ü.M.) vollständig angefüllt. Nur eine schmale Fließrinne stand dem Abfluß zur Verfügung. Etwa 500–1000 m vor der Sperrstelle erfolgte eine Aufteilung zu den beiden Auslässen. An den Stauraumrändern waren Ablagerungen bis zur maximalen Wasserspiegelhöhe möglich; es wurden Sedimente bei 1202,30 m ü.M., also 0,3 m unterhalb der Dammkrone entdeckt¹⁴⁸. Das Längsgefälle in dem zusedimentierten Stauraum betrug etwa 0,05 %.

147 In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß der Stauraum sicherlich nicht – wie von verschiedenen Autoren angenommen – durch Handarbeit ausgeräumt und vergrößert wurde.

148 vgl. Brunner, Erforschung, 45.

3.4 GESAMTSYSTEM N1-S1 DER PERIODE I

Bei den Betrachtungen des Nordbaus N1 und des Südbaus S1 zeigt sich, daß zwischen den Höhen der Schwellen bemerkenswerte Gemeinsamkeiten bestehen. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die jeweiligen Errichtungszeitpunkte und die Betriebszeiten übereinstimmen. Offensichtlich sollte bei den durch den Wasserspiegel miteinander verknüpften Bewässerungsauslässen erreicht werden, daß die Sohlschwellen gleichzeitig überströmt wurden und dadurch die Kulturf Flächen auf den Oasen zum selben Zeitpunkt Wasser erhalten konnten. Diese Kongruenz konnte für die Betriebsperiode I sowohl für die fest eingebauten Sohlschwellen als auch für die temporäre Schwellenerhöhung in AS1 bzw. die zuletzt hydraulisch wirksame Sohle in AN2 nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, daß die letzte, nicht fest eingebaute Schwellenerhöhung im Auslaß AS1 eingesetzt wurde, als sich die Aufteilung zwischen Nord- und Südbau durch die Sohlerrhöhung des Hauptzuleitungskanals zur Nordoase zugunsten der Südoase verändert hatte. Die Kronenhöhe des jüngsten Absperrdammes wurde aufgrund von Sedimentresten im Stauraum mit 1202,60 m ü.M. festgelegt und ist ausschlaggebend für die Betrachtung von Hochwasserereignissen.

Für den Beginn der Betriebsperiode I sind die festen Schwellen ausschlaggebend. Dabei ist nicht unbedingt sicher, ob der Absperrdamm bereits zu Beginn der Periode die endgültige Höhe von 1202,60 m ü.M. besaß, da die Hochwassersicherheit des Systems aufgrund der geringeren Schwellenhöhen in den Betriebsauslässen und wahrscheinlich auch der Hochwasserentlastung AN1 auch bei einer geringeren Höhe des Dammes ausreichend gewesen wäre.

Auch für die Betriebsperiode II ist ein Rekonstruktionsansatz möglich. Die Höhen der erhaltenen Sohlschwellen im Auslaß AS1 zeigen 2 Phasen für die Periode II an. Entsprechende Sohlschwellen in dem postulierten nördlichen Betriebsauslaß sind anzunehmen. Da die Bauhöhe des Südbaus S2 das Niveau 1197,30 m ü.M. sicherlich nicht überstieg, ist dieser Wert auch als maximale Dammhöhe der Periode II anzunehmen. In Verbindung mit der bei den Ansichten des Nordbaus erkennbaren Differenz bei Linie „E“ liegt die ehemalige Höhe zumindest einzelner Bauelemente plausibel vor.

Tab. 3 Zusammenstellung der Anlagen für die Perioden I und II.

Periode I	Dammkrone 1202,60 m ü. M.		
	Phase 2	Schwelle N 1197,40	Schwelle S 1197,36
	Phase 1	Schwelle N 1195,99	Schwelle S 1195,56
Periode II	Dammkrone 1197,30 m ü. M.		
	Phase 2	Schwelle N ?	Schwelle S 1192,10
	Phase 1	Schwelle N ?	Schwelle S 1191,00

3.5 HYDRAULISCH-FUNKTIONELLER ÜBERBLICK UND VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEIT

Neben Betrachtungen über die Abläufe im planmäßigen Betrieb sind besonders die Wahrscheinlichkeiten von Versagensereignissen von großem Interesse. Diese mußten bei außergewöhnlichen Abflußereignissen zwangsläufig eintreten und verursachten große Schäden an den Funktionselementen. Das gesamte Wirkungssystem setzt sich im wesentlichen aus folgenden Faktoren zusammen:

- hydrologische Ereignisse im Einzugsgebiet des Wādī Dana und der daraus abgeleitete Gang der Zuflüsse zum Staubereich,
- Retentionsvermögen im Stauraum in Abhängigkeit von dem sich ändernden Sedimentationsgrad,
- hydraulische Leistungsfähigkeit der im System integrierten Funktionselemente
 - Hochwasserentlastung des Nordbaus AN1,
 - Bewässerungsauslässe des Nordbaus AN2,
 - Bewässerungs- und Hochwasserauslaß des Südbaus AS1,
- konstruktive Gestaltung der Wasserbauwerke und Versagenswahrscheinlichkeit.

Auf der Grundlage des Wasserdargebots als wichtigster Ressource der sabäischen Kultur erscheint die Annahme plausibel, daß diese Größe als Input das System und die Betriebsabläufe maßgeblich beeinflusste. Deshalb ist es naheliegend, die Ergebnisse von Analysen der Funktionselemente mit den hydrologischen Daten zu vergleichen.

Zur Einschätzung der Zielerfüllung des Funktionssystems hinsichtlich des Bewässerungsbetriebes und der Hochwasserschutzfunktion müssen die das Abflußgeschehen beeinflussenden Faktoren bezüglich ihres zeitlichen und quantitativen Zusammenwirkens überprüft werden.

Für den Punkt „hydraulische Leistungsfähigkeit der Auslässe“ wird auf die graphischen Darstellungen in den Abbildungen 13, 15 und 19 zurückgegriffen. Dabei ergeben sich in Verbindung mit der letzten, größten Höhe der Dammkrone von 1202,60 m ü.M. folgende Abflußwerte, die auf eine maximale, randvolle Stauhöhe bezogen sind:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| – Betriebsauslässe des Nordbaus AN1 Hydr. wirks. Schwelle 1197,38 m ü.M.: | $Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| – Hochwasserentlastung des Nordbaus AN2 Hydr. wirks. Schwelle 1199,85 m ü.M.: | $Q_{\max} = 440 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| – Betriebsauslaß des Südbaus AS1 Hydr. wirks. Schwelle 1195,56 m ü.M.: ¹⁴⁹ | $Q_{\max} = 152 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| – maximale Gesamtentnahme aus dem Stauraum: | $Q_{\max} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$ |

Bei der Analyse wird unterstellt, daß die hydraulischen Elemente AN1, AN2 und AS1 so gesteuert wurden, daß ihre maximale hydraulische Leistungsfähigkeit zur Hochwasserentlastung genutzt werden konnte, so daß das Versagensrisiko des Gesamtsystems auf ein betrieblich realistisches Maß reduziert wurde. Zur Berechnung der Hochwasserabläufe im System unter Berücksichtigung der Stauraumretention wurde das nachfolgend stichwortartig beschriebene Rechenprogramm verwendet:

Eingangsgrößen

- Zuflußganglinie aus dem Einzugsgebiet zum Stauraum
- Speicherkennlinie
- Kenndaten der Auslaßbauwerke (Durchlaßbreiten, Schwellenhöhen, Überfallbeiwerte) in Form von Schlüsselkurven

149 Für die Betrachtung der Versagenswahrscheinlichkeit während der letzten Betriebsjahre muß von dem Niveau der fest eingebauten Schwelle (1195,56 m ü.M.) ausgegangen werden (vgl. Kap. 3.2.1). Für die letzten Phasen der Periode I mit ganz geöffnetem Südbau und für den Fall von Hoch-

wasserereignissen früherer Phasen ist diese Höhenlage ausschlaggebend. Nur für den gewöhnlichen Bewässerungsbetrieb während früherer Phasen kann das Überfallniveau von 1197,36 m ü.M. angehalten werden, welches mit Hilfe nur lose in den Durchlaß eingebrachter Balken erzeugt werden konnte.

Ergebnisgrößen

- Abflußganglinien für
 - die Betriebsauslässe Nordbau AN2
 - die Hochwasserentlastung Nordbau AN1
 - den Auslaß Südbau AS1
- Wasserspiegelganglinien für den Stauraum.

Dabei wird iterativ für möglichst kleine Zeitintervalle (z. B. $t = 1 \text{ h}$) die durch den Zufluß verursachte Höhenänderung des Wasserspiegels im Stauraum auf der Grundlage der Speicherkennlinie berechnet. Entsprechend den Auslaßkennlinien entsteht so ein neuer Abfluß an den Auslaßbauwerken, was wiederum eine neue Wasserspiegellage erzeugt. Dabei entstehen die o.a. Abfluß- und Wasserspiegelganglinien; die Retentionswirkung ist aus der zeitlichen Verschiebung der Spitzen von Zufluß- und Abflußganglinien deutlich (s. Abb. 34, Ganglinien für die Stauraumversion 2 (s. Abb. 32 und 33)).

Simulierte Zuflußganglinien für Hochwasserereignisse unterschiedlicher Häufigkeit n (Eintrittswahrscheinlichkeit) in Abhängigkeit von verschiedenen Versionen der Stauraumretention stellen wichtige Ausgangsgrößen dar. Die Zuflußganglinie, die für den Stauraum eine Wasserspiegelganglinie mit einem Maximalwert von 1202,60 m ü.M. (= Höhe der Dammkrone) erzeugt, stellt mit der entsprechenden Häufigkeit jenes Hochwasserereignis dar, bei dem ein Überfluten des Erddammes und der damit wahrscheinliche Dammbruch (Kappenbruch) gerade noch verhindert wird. Bereits ein Hochwasserereignis mit einem geringfügig größeren Wiederkehrintervall kann also als Katastrophenereignis definiert werden, zumal die Oberflächenbefestigung des Erddammes (Stückung) keine nennenswerte Überströmungshöhe gestattete.

Die Analysen führen zu den in den Tab. 4 dargestellten Ergebnissen. Für die weiteren Betrachtungen sind die den einzelnen Abflußspitzen zugeordneten Häufigkeiten von besonderem Interesse.

Es ist leicht erkennbar, daß die starken Unterschiede in der Stauraumretention nur zu vergleichsweise geringen Auswirkungen auf die Hochwasserabflüsse im System führen. Dieses Phänomen kann ver-

Tab. 4 Kenndaten für verschiedene Stauraumversionen.

Eingangsgröße Ergebnisgröße	Dimen- sion	Stauraumversion		
		(1)	(2)	(3)
Retentionsvolumen	10^6 m^3	64	24	17
Spitze der Zufluß- ganglinie	m^3/s	1090	866	842
Kappung*	m^3/s	380	156	132
Verzögerung**	h	15	9	8
Häufigkeit n^{***}	a	25 (0,04)	12 (0,08)	11 (0,09)

* Differenz zwischen der Spitze der Zuflußganglinie und der max. hydr. Kapazität der Summe der Auslässe

** Zeitraum zwischen Zuflußspitze und dem Zeitpunkt, zu dem sich der maximale Wasserspiegel einstellt

*** Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Zuflußganglinie, die den max. Stauwasserspiegel von 1202,60 m ü.M. erzeugt

deutlicht werden, indem man die zeitlichen Abläufe der Aufsedimentierung überschlägig betrachtet: wenn sich in dem Stauraum der Version (3) mit einem Retentionsvolumen von etwa 17 Mio. m^3 durchschnittlich pro Jahr etwa 1,2 Mio. m^3 Sediment ablagern, ist bereits nach 10 Jahren das Volumen auf

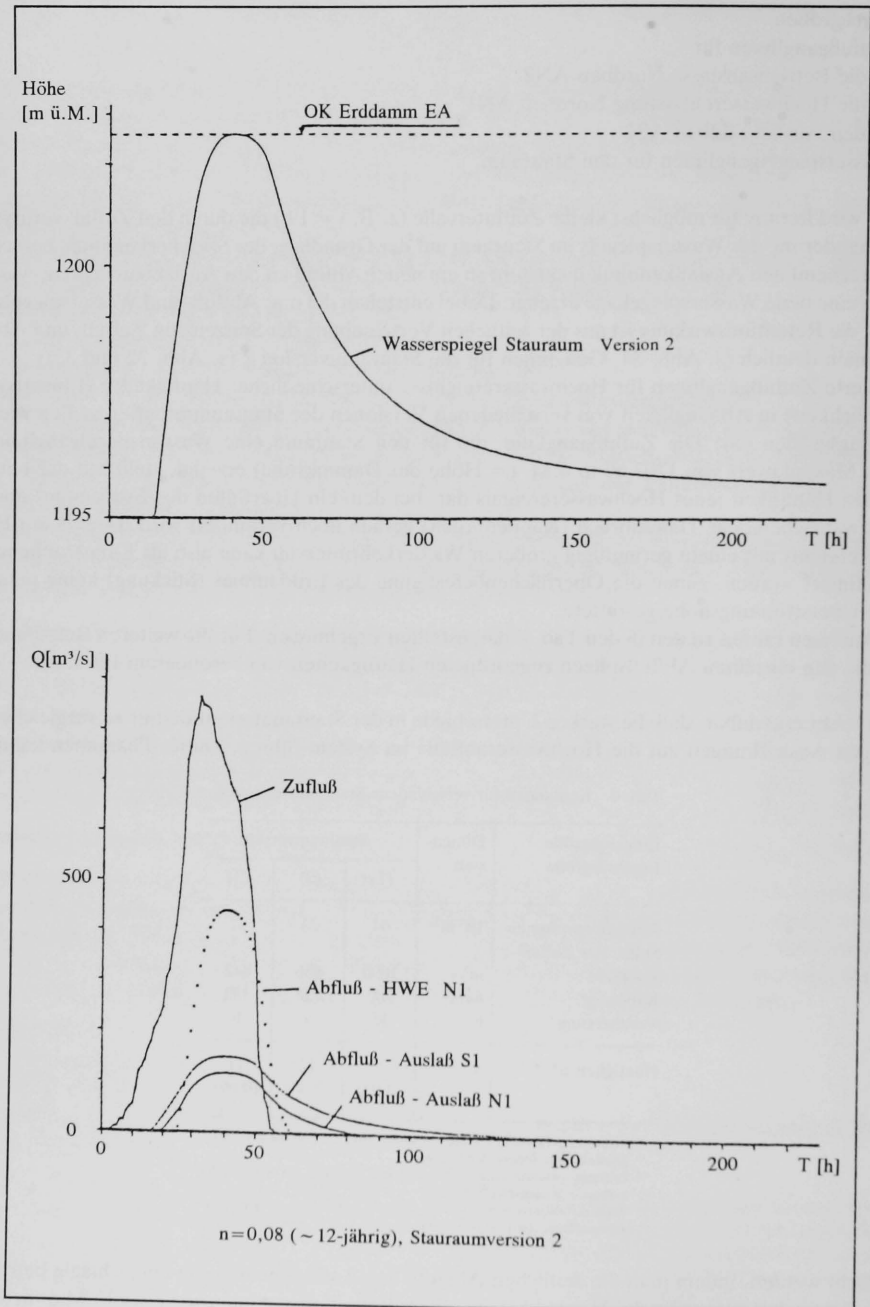


Abb. 34. Abflußganglinien für Hochwasserereignis.

etwa 5 Mio. m³ geschrumpft. Es ist also festzuhalten, daß Sedimentationsvorgänge im Stauraum die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems nur in geringem Maße beeinflußt haben.

Zur Beantwortung der wichtigen Frage nach der Versagenswahrscheinlichkeit des Systems, d. h. der statistischen Häufigkeit von Dammüberflutungen und daraus resultierenden Schäden, bedürfen die o.a. angeführten Berechnungen einer relativierenden Betrachtung. Die Versagenswahrscheinlichkeit ist aus mehreren Gründen nicht identisch mit den dargestellten Häufigkeiten:

- Das Modell zur Simulation der der Analyse zugrunde liegenden Ganglinien verzichtet auf eine explizite Berücksichtigung der Retentionswirkung des Einzugsgebietes und der Wadisysteme. Deshalb erscheint die Annahme plausibel, daß die berechneten Abflußhöhen (-Spitzen) vorgegebener Häufigkeiten gegenüber den Spitzen der in der Realität auftretenden Ereignisse gleicher Häufigkeit leicht überhöhte Beträge aufweisen, d. h., daß die Eintrittswahrscheinlichkeit der berechneten Ganglinien in Wirklichkeit geringer als hier ermittelt war.
- Wie bereits erwähnt, ist eine Dammbruchkatastrophe real erst eingetreten, nachdem der Damm über eine gewisse Zeit bis zu einer bestimmten Höhe überflutet worden war. Damit sind für den Zeitpunkt eines Dammbruchs tatsächlich ein größerer Abfluß und eine höhere Stauraumretention als in der obigen Analyse zugrunde zu legen. Die Versagenswahrscheinlichkeit muß auch aus diesem Grunde geringer gewesen sein als die ermittelten Häufigkeiten.
- Versickerung und Verdunstung in Einzugsgebiet und Stauraum bewirken ebenfalls eine Veränderung der Zu- und Abflußverhältnisse im System. Da auch sie in den Analysen und Berechnungen unberücksichtigt geblieben sind, deutet dieses Argument ebenfalls in Richtung einer tatsächlich geringeren Versagenswahrscheinlichkeit.

Eine Abwägung der genannten Argumente führt zu den folgenden aussagekräftigen Ergebnissen. Die Versagenswahrscheinlichkeit des wasserwirtschaftlichen Funktionssystems der Stauanlage Märib der Periode I und die damit verbundene Eintrittswahrscheinlichkeit von Dammbrüchen lag bei etwa $n=0,05-0,04$, das heißt, daß im langfristigen Durchschnitt alle 20–25 Jahre während der Betriebsperiode I eine Dammbruchkatastrophe stattgefunden haben muß, mit der eine mehr oder weniger umfangreiche Ausräumung von Stauraumsedimenten verbunden war. Aus den Erläuterungen geht hervor, daß, durch die Stauhöhe bedingt, die Ausräumungen bei Dammbrüchen relativ umfangreicher sein mußten als in älteren Perioden. Es ist zu erwarten, daß die Ausräumungen älterer Perioden sich durch Überreste entsprechender Diskordanzen in den Stauraumsedimenten heute nicht mehr nachweisen lassen.

Interessant ist an dieser Stelle ein Hinweis auf die Berechnungen der Elektrowatt AG¹⁵⁰. Diese gibt in ihrer Studie bereits für das 2jährige Hochwasserereignis eine Spitze von 950 m³/s an, so daß bei den Stauraumversionen der Damm alle 2 Jahre gebrochen sein müßte.

Es zeigt sich, daß während der Periode I, wahrscheinlich auch in den früheren Perioden, Dammbrüche häufiger eintraten als bisher angenommen. Keinesfalls war, wie es in zahlreichen populär gehaltenen Veröffentlichungen dargestellt wird, ein Dammbruch ein einmaliges Katastrophenereignis, welches den entscheidenden Grund für die Aufgabe des Bewässerungssystems darstellte.

Die große Häufigkeit von Dammbrüchen (während der Periode I) könnte verwunderlich erscheinen. Eine wirksame Abhilfe hätten jedoch nur vergrößerte Einrichtungen zur Hochwasserentlastung gebracht. Diese waren jedoch während der Periode I konstruktiv nicht lösbar, da bei dieser Konzeption der für die Gründung entsprechender zusätzlicher Baukörper unbedingt erforderliche Felsuntergrund an keiner Stelle genutzt werden konnte.

Bezieht man in diese Überlegungen die ebenfalls in den Auslaßquerschnitten nachgewiesenen niedrigeren Schwellenniveaus ein, wird klar, daß die hier angegebene Versagenswahrscheinlichkeit nur für die letzten Phasen der Periode I Gültigkeit besitzt. In den vorhergehenden Phasen lagen die Schwellen im Nordbau AN2 um 1,39 m und bei der Schwergewichtsmauer AN1 um 1,80 m tiefer, so daß die maximale Kapazität bei einer Dammkrone von 1202,60 m ü.M. mit etwa 450 m³/s um über 60 % größer war.

Von Interesse sind auch die entsprechenden Dammbbruchinschriften, die von umfangreichen Zerstörungen des Dammes und der Ableitungsanlagen als Folge außergewöhnlicher Abflußereignisse berichten. Sie können nur während eines relativ kurzen Zeitraumes zum Ende der Bewässerungskultur nachgewiesen werden. Dies könnte als Hinweis darauf gewertet werden, daß Dammbbruchereignisse zu früheren Zeitpunkten seltener waren und wesentlich geringere Schäden an den Anlagen nach sich gezogen haben. Die Begründung kann in der größeren Hochwassersicherheit des Gesamtsystems liegen, aber auch in einer geringeren Wahrscheinlichkeit hinsichtlich der Hochwasserabflüsse im Wādī Dana. Die Ursache für niedrigere Abflußspitzen könnte in einer zum damaligen Zeitpunkt intensiveren Nutzung des Wasserdargebots im Rahmen von Kulturlflächen im Einzugsgebiet des Wadis liegen¹⁵¹, kann aber auch durch ein geringeres Niederschlagsaufkommen während trockener Klimaperioden veranlaßt sein.

151 Der entgegengesetzte Vorgang ist heute in Wadis der Tihama zu beobachten, wo Häufigkeit und Umfang der Hochwassereignisse z. T. sehr stark zugenommen haben, nachdem die Terrassen in den Einzugsgebieten durch Brache und folgende

Erosionsschäden sowie durch anthropogene Einwirkungen (Wegebau u. a.) zerstört sind. Daher kommen auch bisher gespeicherte Anteile des Dargebotes zum Abfluß.

4. Funktionselemente im Wādī Dana aus älteren Betriebsperioden

Neben den großen Stau- und Ableitungsbauwerken „Nordbau (N1)“ und „Südbau (S1/2)“ sind an mehreren Stellen Überreste von weiteren Anlagen bekannt. Diese müssen sämtlich älteren Betriebsperioden zugeordnet werden. Teilweise zeugen umfangreiche Felsarbeiten von diesen Anlagen (z. B. S3, S4), bei anderen sind noch wichtige Funktionselemente bis heute erhalten (z. B. bei N4, S5). Für die Bauwerke N2 und N3 liegt bisher nur durch die Auswertung von Kanalprofilen, die im Sediment zu finden sind, ein sicherer Nachweis vor. Zur Lage dieser Anlagen s. Tafel 1.

In diesem Zusammenhang kann der im Jahr 1985 im Zuge der Bauarbeiten an dem neuen Staudamm entdeckte „Bau X“ von Interesse sein¹⁵². Dieses Ableitungsbauwerk befindet sich genau an dem neuen Damm im heutigen Seebereich und ist hinsichtlich der prinzipiellen Gestaltung und Bautechnik den älteren Anlagen vergleichbar. Die Bauaufnahme ist bisher unveröffentlicht.

Die Anlagen werden für Nord- und Südoase getrennt nach ihrer lagemäßigen Abfolge an den Wadiufern behandelt.

4.1 BAUANLAGEN N2 UND N3

Bereits während der Betriebsperioden II und III wurde das Wādī Dana am Durchbruch durch das Kalkgebirge gestaut und abgeleitet (zur Situation s. Abb. 10). Die Überreste der entsprechenden Ableitungsbauwerke zur Südoase sind in der Umgebung des südlichen Dammes erhalten. Der Nachweis entsprechender Vorgängerbauwerke des Nordbaus N1 ist schwieriger. Felsarbeiten als Teile älterer Bauwerksfundamente sowie in Sedimentstotzen erhaltene Profile als Überreste älterer Hauptkanaltrassen können grobe Hinweise auf Bauwerksstandorte geben. Die Erweiterung des Tosbeckens nach Süden und die leichten Knicke in der Trassierung zu Beginn des Hauptzuleitungskanals weisen ebenfalls darauf hin, daß sich in direkter Nachbarschaft des erhaltenen Nordbaus N1 ein Vorgängerbauwerk befand. Offensichtlich ist der Standort des Nordbaus N1 relativ nahe an dem Bergmassiv durch die vorhandene Topographie bestimmt. Ältere Ableitungsanlagen sind mit großer Wahrscheinlichkeit im Verlauf der Trasse des Absperrdammes zu suchen, da anzunehmen ist, daß bei den Standortveränderungen der Ableitungsanlagen jeweils die alte Dammtrasse wieder aufgegriffen wurde und somit der Damm nur erhöht und verlängert werden mußte. Diese Vorgehensweise erklärt auch die Kurve in der Dammtrasse.

152 Zur Lage vgl. Herberg, Bauanlage A, Abb. 24.

Bauanlage N2 auf der Grundlage von Felsarbeiten

In dem natürlichen Felsuntergrund in der Nähe des Nordbaus N1 treten an mehreren Stellen, die nicht (mehr) mit Stauraumsedimenten bedeckt sind, Abarbeitungen zutage. Als auffälligste sind die Abarbeitungen in der Basis von Bauteil AN(3) und im gegenüberliegenden Felshang zu nennen (s. Abb. 11); diese können aufgrund ihrer gegenseitigen Lage direkt einander zugeordnet werden. Sie dienten wohl der Gründung eines Bauelementes, welches einem Ableitungsbauwerk der Betriebsperiode II zuzurechnen ist. Funktionell ist die vermutete Schwergewichtsmauer als nördliche Abschlußmauer anzusehen und stellt so den Vorgängerbau der erhaltenen Abschlußmauer AN(1) dar.

In Verbindung mit der Tatsache, daß die unteren Teile (bis zur Höhenlage „E“: $H = 1198,37 \text{ m ü.M.}$) des erhaltenen Anschlußbauwerkes AN(3) bereits der Betriebsperiode II zugeordnet wurden, und bei Berücksichtigung von Annahmen, die sich aus Untersuchungen des jüngsten Hauptzuleitungskanals AN(5) ergeben, ergibt sich eine Konzeption der nördlichen Ableitungsanlage N2, wie sie zumindest während der späten Phase der Betriebsperiode II bestand.

In dieser Zeit existierten zwei lagemäßig getrennte Bewässerungsauslässe zur Versorgung der Nordoase. Über den eben beschriebenen Auslaß im Bereich des Auslaßbauwerkes AN(3) des Nordbaus N1 wurde ein Hauptkanal gespeist, der zur Versorgung der nördlichen und nordöstlichen Teile der Nordoase diente. Seine Trassenführung stimmte am Beginn mit der des jüngsten Hauptkanals AN(5) überein, schwenkte dann jedoch nach Norden ab, um als Randkanal die westlichen Bereiche der Nordoase zu passieren¹⁵³. Diese westlichen Flächen und der Mittelteil der Nordoase wurden über den zweiten Auslaß versorgt, der von dem erhaltenen Absperrdamm AE überlagert ist. Der dazugehörige Hauptkanal verlief über die teilweise erhaltenen Sedimentrücken zu dem Vorgängerbauwerk des Hauptverteilers (NH).

Bauanlage N 2 und zugehörige Reste von Hauptbewässerungskanälen

In der Nachbarschaft des erhaltenen Hauptzuleitungskanals vom Nordbau N1 zur Hauptverteileranlage sind mehrere Sedimentreste erhalten (s. Tafel 7b). In dem südlich des Kanals, also zum Wādī Dana hin, gelegenen Bereich sind mehrere (Haupt-)Kanalprofile bzw. Kanalwangen zu erkennen¹⁵⁴. Die Sedimentblöcke sind, da sie im Abströmbereich der Abflüsse von Dammbruchereignissen liegen, durch Erosion stark zergliedert.

Die Kanäle, deren Querschnittsparameter auf große Kapazitäten hinweisen, wurden z. T. durch Wälle begrenzt, die aus Sedimenten geschüttet worden waren. Einige der Reste deuten darauf hin, daß die betreffenden Kanäle teilweise in seinerzeit bereits bestehende Sedimente eingegraben worden sind. Diese Sedimente erreichen eine maximale Höhe von $1194,9 \text{ m ü.M.}$; es muß sich zwangsläufig um Bewässerungssedimente handeln, eine Deutung als ältere Waditerrassen oder Stauraumsedimente früherer Betriebsperioden fällt wegen dieser relativ großen Höhe aus. Bei der Zuordnung der Kanalreste zu bestimmten Betriebsperioden müssen diese Erwägungen berücksichtigt werden. Diese Art der Anlage von Hauptkanälen muß im übrigen zu dem Schluß führen, daß ihr Bau nicht mit einer Erhöhung der Ableitungseinrichtungen einherging, sondern nur als seitliche Verlagerung aufzufassen ist. Aus den Kanalresten lassen sich 3 Kanäle rekonstruieren, die der Betriebsperiode II zuzuordnen sind. Der älteste ist von geschütteten Wällen begrenzt, die beiden jüngeren sind eingegraben in Sedimente, die vermutlich während der Betriebszeit des älteren akkumuliert wurden. Die Lage des zugehörigen Ableitungsbauwerks N2 kann nur grob im Bereich der Kurve der Dammtrasse definiert werden, da sich eine eindeutige Richtung der Kanaltrasse nicht ergibt.

153 Die Reste eines entsprechenden Kanals sind am Nordrand des heutigen Wādī Ġufaina bis in die Nähe der Anlage „al-Mabnā“ erhalten.

154 Die Untersuchung der Sedimentreste und die

Rekonstruktion der Kanäle wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens von W. Wagner durchgeführt. Vgl. Radermacher u. a., Antike Technologie, 193–210.

Bauanlage N3

Aus der älteren Periode III sind in den Sedimenten nur die Teile einer Kanalführung erhalten, woraus Hinweise auf eine Bauanlage N3 entnommen werden können. Es ist anzunehmen, daß N3 im Bereich der Dammtrasse auf der etwa 150 m langen Strecke zwischen dem Rand des heutigen Wadibettes und der Dammkurve lag. Die Gründung einer derartigen Anlage wurde auch dort durch den Untergrund aus Kalkstein begünstigt. Unter der Zielsetzung einer Verkürzung der Dammtrasse ist das älteste Bauwerk sicherlich an der Stelle zu suchen, wo möglichst nahe dem Wadi der ansteigende Kalksteinuntergrund eine Gründung zuließ. Es kann dabei nicht ausgeschlossen werden, daß auch im Zuge der Betriebsperiode III während mehrerer Phasen aufeinanderfolgende Bauanlagen in Betrieb waren.

4.2 BAUANLAGE N 4 („BAU A“)

Dieses Wasserbauwerk befindet sich etwa 400 m östlich der jüngsten, erhaltenen Dammanlagen im Bereich des heutigen Wadibettes (s. Tafel 1). Eine erste Erwähnung der Anlage ist bei Glaser zu finden, der „mitten im Flußbette des Denne, nicht weit unterhalb des Dammes, ... einen merkwürdigen, einer Wehre nicht unähnlichen Steinbau“¹⁵⁵ vorfand. Weitere Berichte kommen bei Vinck und Dequin vor, die 1960 gemeinsam die Anlage besuchten. Vinck spricht dann von einer Kultstätte oder einem Badehaus¹⁵⁶. Eine Kurzbeschreibung ist bei Dequin¹⁵⁷ zu finden. Er deutet die Überreste als im Fluß liegende „wichtige Nebenkultstätte“¹⁵⁸, die Steinquaderreihe bezeichnet er als tribünenartigen Damm. Auch von Wade¹⁵⁹ wird die Anlage als „500 m structure“ genannt und mit einer Skizze der bei ihrem Besuch 1976 sichtbaren Teile beschrieben. Wissmann vermutet, daß die Anlage mit einem der Bauobjekte „von Yasrān und Abyan in deren Mitte“¹⁶⁰ übereinstimmt, von deren Errichtung in einer Herrscherinschrift des 7. Jh. v. Chr. aus Širwāḥ berichtet wird. Nach der neueren Datierung der technischen Anlagen muß N4 (Bau A) allerdings wesentlich älter sein.

Aus einer früheren Veröffentlichung von Schmidt¹⁶¹ liegt ein steingerechter Aufnahmeplan von Teilen der als „Bau A“ bezeichneten Anlage vor, da die seinerzeit an der Oberfläche sichtbaren Überreste bereits in einem der ersten Feldaufenthalte nach bauhistorischen Gesichtspunkten bearbeitet worden sind. Nach einer detaillierten Felduntersuchung und Grabung wurde von Herberg ein Bericht mit einer ausführlichen Baubeschreibung der Anlage vorgelegt¹⁶².

Die neben einer ausgedehnten Pfahlquaderreihe auffälligsten Bauelemente der Anlage stellen eine massive Sohlschwelle mit einer Breite von 5,0 m und die Überreste von mehreren Pfeilerbauten dar (s. Abb. 35). Quer über die gesamte Auslaßbreite sind auf dieser Schwelle Anzeichen von Erosion in Form einer geradlinigen Auskehlung zu finden. Diese deutet darauf hin, daß über einen längeren Zeitraum eine Erhöhung der in situ befindlichen Schwelle bestanden hat; als Beleg für diese Schwellenerhöhung (um etwa 0,6 m) wurden einige in den Ausmaßen passende Steinblöcke östlich der Schwelle aufgefunden. Bemerkenswert sind an der dem Wadi-Stromstrich zugewandten Südseite der Anlage

155 s. Glaser, Reise, 70. Es muß aufgrund des sehr frühen Bauzeitpunktes bezweifelt werden, daß sich – wie Glaser berichtet – dort früher eine Inschrift befunden hat.

156 Vinck wertet die Anlage als Hinweis auf einen Grundablaß, der dem Funktionssystem N1-S1 der Periode I zuzuordnen ist. Vgl. Vinck, Wasser und Boden 1962, H.10, 355.

157 vgl. H. Dequin, Orient 586, 1968, 164–167; Dequin, Republik, 132.

158 Diese Deutung übernimmt auch Schoch. Vgl. Schoch, Geographica Helvetica 1978, 122.

159 vgl. R. Wade, PSAS 9, 1979, 115, Abb. 13.

160 Inschrift RES 3946. Wissmann, Großreich, 161f.

161 vgl. J. Schmidt, Die älteren Bauanlagen im Wādī Dāna, Taf. 139, ABADY I (1982).

162 vgl. Herberg, Bauanlage A, 98–121.

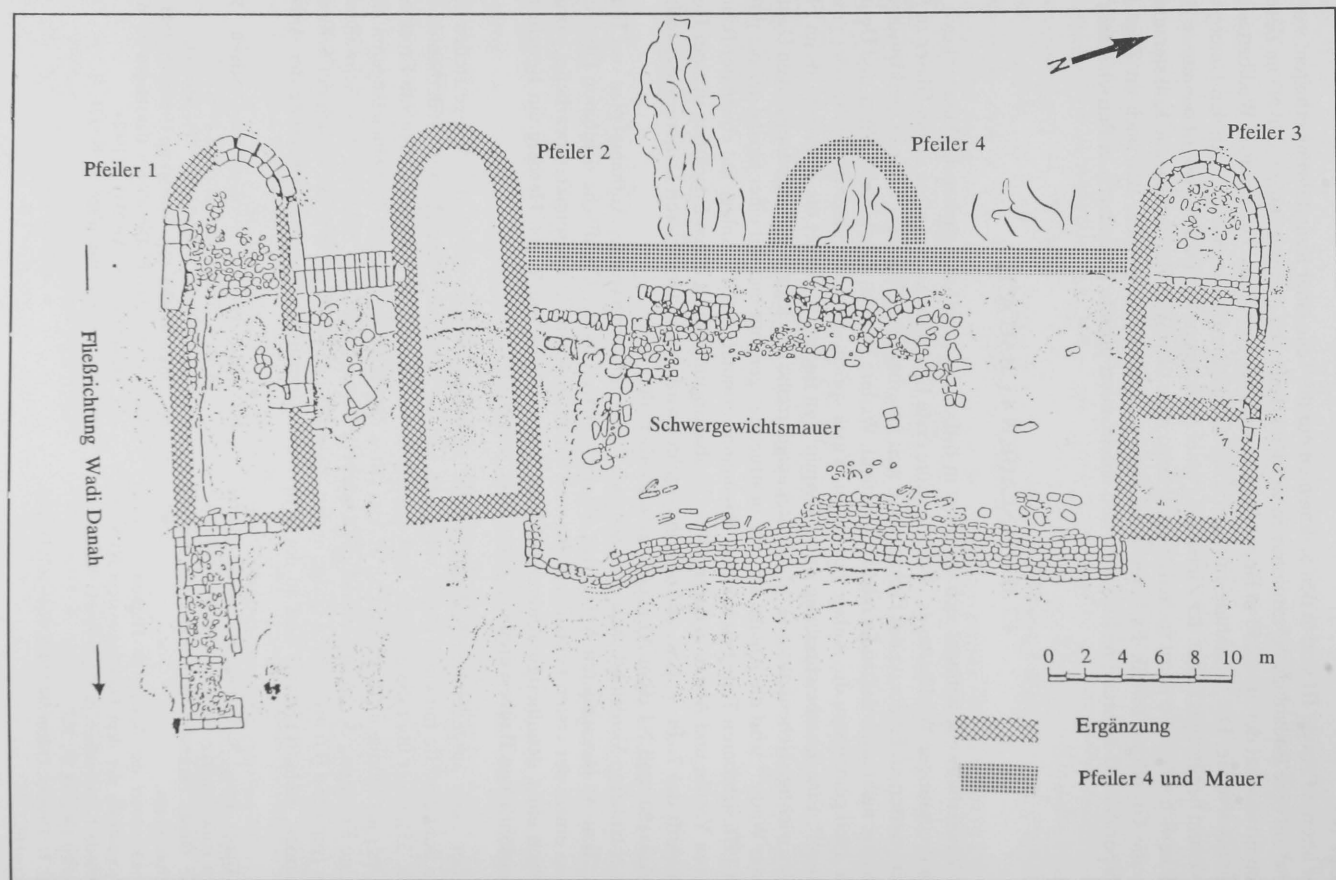


Abb. 35. Grundriß der Bauanlage N4.

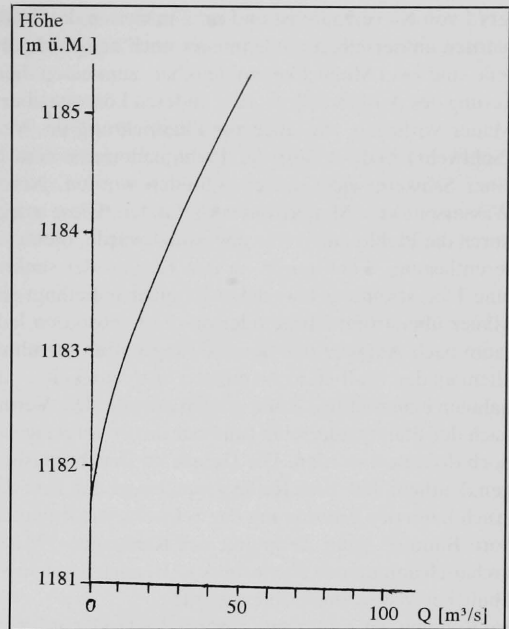


Abb. 36. Schlüsselkurve der Anlage N4.

befindliche Erosionsspuren, die darauf hindeuten, daß während der antiken Betriebszeit Wasser an dieser Außenmauer vorbeiströmte. Das südliche Pfeilerelement war an der Ostseite mit einem Flügелеlement in der Technik der Schalenmauern mit Hinterfüllung verlängert, dadurch wurde der Anschluß eines Kanalwalls ermöglicht. Die Schlüsselkurve des Auslasses von N4 auf der Grundlage der erhaltenen Schwelle zeigt Abb. 36. Im östlichen Bereich der Anlage erstreckt sich über etwa 33 m die erwähnte Reihe von treppenartig hintereinander gestellten Pfahlquadrern, die eine größte Höhe von 1185,37 m ü.M. erreichen und an die Reste eines weiteren Pfeilerbauwerks anschließen. Alle Bauelemente sind dem Basaltuntergrund, der in der näheren Umgebung an mehreren Stellen zutage tritt, angepaßt und nutzen optimal die Standortbedingungen für die Bauwerksgründung aus. Auffällig ist allerdings, daß die Ausrichtungen der südlichen Auslaßpfeiler und des dritten, nördlichen Pfeilers nicht übereinstimmen, der Grund dafür mag in der Morphologie des anstehenden Felsuntergrundes zu suchen sein oder einen Hinweis auf die Mehrphasigkeit der Gesamtanlage darstellen.

Während der Feldkampagne 1984/85 wurden der zweite Pfeiler des Durchlasses und tiefere Teile des Bauwerks „A“ (vgl. Abb. 35) freigelegt, jedoch können die aus funktionellen Gesichtspunkten wichtigen Fragen auch dadurch noch nicht vollständig gelöst werden. Die ursprünglich bei dem nördlichen Pfeiler vermuteten Elemente, Schwelle und Gegenpfeiler, waren nicht aufzufinden, auch entsprechende Anschlüsse fehlten, so daß die Anlage zum Zeitpunkt ihrer Aufgabe lediglich einen einzigen Durchlaß besessen hat. Die Anschlußelemente einer das Wadi in südlicher Richtung abschließenden Dammanlage, welche u. a. von Brunner¹⁶³ als plausible und wahrscheinliche Lösung angesehen wird, konnten ebenfalls bei den Freilegungen nicht ermittelt werden, obwohl an der betreffenden Stelle das Bauwerk bis an den anstehenden Lavauntergrund untersucht werden konnte. An einer Seite wurde allerdings ein schwellenähnliches Bauelement aufgefunden, welches mit der südlichen Mauer des Pfei-

163 vgl. Brunner, Erforschung, 110.

lers 1 von N4 verzahnt ist und ca. 2 m weit in das Wadibett hineinreicht. Gleichartige Ausarbeitungen wurden an derselben Außenmauer noch einige Meter östlich aufgefunden. Zur Deutung dieser Bauteile sind zwei Möglichkeiten denkbar: zum einen dienten sie möglicherweise der zusätzlichen Verankerung des Auslaßpfeilers, zum anderen könnten aber auch damit Reste der Fundamentbereiche einer Mauer vorliegen, die quer zur Fließrichtung im Wadibett angeordnet war und eine Sohlerrhöhung (Sohlwehr) bildete. Vor der Pfahlquaderreihe sind bei neueren Freilegungsarbeiten die Überreste einer Schwergewichtsmauer gefunden worden. Neben zahlreichen Mauerstrukturen wurde an der Wasserseite eine Mauerfront vorgefunden. Diese ursprünglich noch höhere Schwergewichtsmauer, die durch die Pfahlquaderreihe abgestützt wurde, diente als Verbindungsbauwerk und/oder als Hochwasserentlastung. Fließspuren an den Köpfen der senkrecht angeordneten Kalksteinquader deuten auf eine Überströmung hin; dabei ist nicht unbedingt sicher, ob während der antiken Betriebszeit die Mauer überströmt wurde oder ob die Fließspuren lediglich von Hochwasserereignissen in dem Zeitraum nach Aufgabe der Bewässerungskultur herrühren. Die Anordnung der Pfahlquader besitzt vor allem an den Endbereichen einige Unstimmigkeiten, die bei den Überlegungen bzgl. von Umbaumaßnahmen eine wichtige Rolle spielen müssen. Die Vermutung¹⁶⁴, das nördliche Pfeilerbauwerk 3 sei erst nach der Pfahlquaderreihe (und der dieser vorgelagerten Schwergewichtsmauer) erstellt worden, muß noch diskutiert werden. Die Details im Berührungsbereich des Pfeilers und der Pfahlquaderreihe zeigen deutlich, daß diese Reihe genau bis an den zum damaligen Zeitpunkt bestehenden Pfeiler reichte. Auch kann der Einordnung der Schwergewichtsmauer einschl. der Pfahlquaderreihe als älteste sichtbare Bauteile (zum Zeitpunkt der Kampagne 1983/84)¹⁶⁵ nicht unbedingt gefolgt werden, da diese archaisch anmutende Bautechnik z. B. auch bei dem Südbau S1 für die Abstützung von Baukörpern in ähnlicher Weise angewendet wurde.

Im Rahmen der Kampagne 1985/86 des DAI wurden von Herberg weitere Teile der Anlage freigelegt, wobei in den tieferen Bereichen mehrere bisher unbekannte Bauteile entdeckt wurden¹⁶⁶. Aus dem Befund ergibt sich klar, daß auch am Standort der Anlage N4 („Bau A“) mehrere Bewässerungsbauwerke einander folgten. Die Auswertung der örtlichen Aufnahmen nach bauhistorischen Gesichtspunkten läßt noch interessante Ergebnisse erwarten. An dieser Stelle sollen nur erste Möglichkeiten der Rekonstruktion und eine sich daraus ergebende Einordnung in den bewässerungstechnischen Kontext vorgelegt werden. Bei der folgenden Darstellung handelt es sich also nur um die Beschreibung der jüngeren Anlage, die nach einem Umbau bis zur Aufgabe des Standortes für ein Ableitungsbauwerk in Funktion stand. Es bleibt weiterhin zu untersuchen, ob bei diesen offensichtlich umfangreichen Veränderungen die Gesamtkonzeption der Anlage geändert wurde, oder ob nur eine Erhöhung der Buhne (des Dammes) und der Auslaßbauwerke notwendig war.

Welchem Funktionsziel die Ableitungsanlage N4 diene, kann aufgrund der sichtbaren und freigelegten Bauüberreste nicht eindeutig gesagt werden, vielmehr müssen mehrere Bauwerksrekonstruktionen unter Berücksichtigung der Funktionstauglichkeit und Zielerfüllung auf ihre Plausibilität untersucht werden.

Aus dem antiken Wadiverlauf geht unter Einbeziehung der schon von Brunner¹⁶⁷ beschriebenen, die Fließrichtung ablenkenden Lavazunge hervor, daß sich die Bauanlage N4 („Bau A“), die auf dem Südrand dieser Lavazunge steht, immer im nördlichen Uferbereich des Wadis befunden hat. Es muß davon ausgegangen werden, daß der Stromstrich des Wadis damals bezüglich seines Verlaufs und sei-

164 vgl. Herberg, Bauanlage A, 103.

165 ebd., Tafel III.

166 Das Material der Kampagne 1985/86 ist bisher unveröffentlicht. Freundlicherweise wurde von dem

Grabungsleiter, Prof. Schmidt, die Verwendung eines ersten Aufnahmeplanes im Rahmen dieser Arbeit gestattet.

167 vgl. Brunner, Erforschung, 109.

ner Höhenlage gleich verlief. Für die Erklärung der Funktion der Anlage N4 bieten sich verschiedene Lösungen aus den Prinzipien „Bühne“ oder „Absperrramm“ an, die durch jeweils unterschiedliche bauliche Ergänzungen zu vervollständigen wären.

a) Bauanlage N4 zur Bewässerung der Nordoase mit Hilfe des Bühnenprinzips

Die ausführlichen Untersuchungen von Schmidt und Brunner¹⁶⁸ gehen grundsätzlich von der Tatsache aus, daß mit N4 (als „Bau A“ bezeichnet) ein Ableitungsbauwerk zur Bewässerung der Nordoase vorliegt. Als unterstützendes Argument kann beispielsweise die Anordnung der Anlage im Außenbereich der Wadikurve genannt werden, die von den Planern der Ableitungsanlage bevorzugt wurde, wie auch die räumliche Situation von S5/6 („Bau B“) belegt.

Die auf der Grundlage eines im Felde aufgenommenen Wadiquerschnittes erstellte Abb. 37 verdeutlicht, daß für eine Rekonstruktion bei der heutigen Wadimorphologie ein langer Damm mit relativ geringer Höhe erforderlich wäre, um die zum Nordufer reichende Bühne zu bilden und den das Wasser ableitenden Kanal zu schützen.

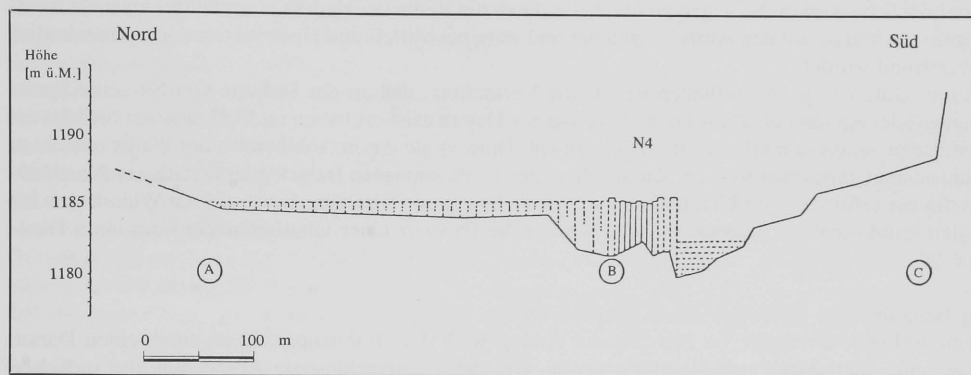


Abb. 37. Querprofil durch die Anlage N4.

Zweifel an dieser Version kommen bei der Berücksichtigung der Sohlschwelle des Auslasses auf, die in einer Höhe von 1181,60 m vollständig erhalten ist; diese Zweifel werden verstärkt durch die Berücksichtigung der zeitweise noch größeren Schwellenhöhe (nach der Erhöhung um eine Quaderlage). Aufgrund des Höhenunterschiedes zwischen der Schwelle und dem in der Nähe verlaufenden, etwa 2 m tiefer liegenden Stromstrich würden Niedrigwasserabflüsse am Bauwerk vorbeigeleitet, die dann der Bewässerung der Südoase zur Verfügung gestanden hätten. Erst ab einem Abfluß von 60 m³/s kann Wasser zu Bewässerungszwecken über die 1181,60 m ü. M. hohe Schwelle abgeleitet werden, wie eine überschlägige Berechnung gezeigt hat. Die Berücksichtigung der Jahresganglinie zeigt, daß die Anlage nur während kurzer Zeiträume im Zuge der Abflußspitzen in Betrieb wäre und lediglich eine geringe Jahressumme an Bewässerungswasser für die Nordoase zur Verfügung stellen könnte. Da aber erst durch Ableitung der Niedrigwasserabflüsse ein relativ kontinuierlicher Bewässerungsbetrieb ermöglicht werden kann, wäre die Zielerfüllung der Bauanlage N4 als Bühnenprinzip zur Bewässerung der Nordoase auf der Grundlage heutiger Waditopographie nicht gewährleistet, was bei dem mit erheblichem Aufwand und großer Perfektion erstellten Bauwerk kaum vorstellbar ist. Lediglich mit

168 vgl. Schmidt, Bauanlagen, 21; Brunner, Erforschung, 109.

der Annahme einer während der antiken Betriebszeit höher liegenden Wadisohle könnte N4 optimal funktionieren, wobei allerdings diese nicht wahrscheinliche Annahme mit sich bringt, daß weite Fundamentbereiche der Anlage unterhalb dieser Wadisohle gegründet worden wären.

Die Richtung des Bewässerungsauslasses ist der Krümmung der Waditrasse angepaßt und weist gen Osten. Eine Verbindung zu dem erhaltenen Hauptverteiler der Nordoase kann ausgeschlossen werden. Der zu den Bewässerungsflächen führende Kanal verlief im Bogen nach Nordosten. Die Ausrichtung der Anlage könnte darauf hinweisen, daß die zur Anlage N4 gehörenden Bewässerungsflächen der Nordoase noch nicht dieselbe Ausdehnung nach Norden besaßen wie zu späteren Betriebszeiten.

b) Bauanlage N4 zur Bewässerung der Nordoase mit Hilfe des modifizierten Bühnenprinzips

Die funktionellen Unzulänglichkeiten, die unter Zugrundelegung des heutigen Wadiquerschnittes bei Kombination von N4 mit einer zum Nordufer führenden Buhne (Version „a“) auftreten, hätten durch den Einbau einer niedrigen Überlaufmauer, welche die Wadisohle im Stromstrichbereich abspernte, vermieden werden können (s. Abb. 37 und Tafel 8). Ein derartiges Bauelement, dessen Oberkante über der Schwelle von N4 liegen mußte, hätte durch die Reduzierung des Querschnittes auch die Niedrigwasserabflüsse auf den Auslaß zugeleitet und wäre bei Mittel- und Hochwasserereignissen schadlos überströmt worden.

Ältere Untersuchungen enthalten bereits die Vermutung, daß an der Südseite von N4 „eine Sperrmauer oder ein quer über das Flußbett gezogener Damm existiert haben muß“¹⁶⁹, was mit örtlich vorhandenen Steinresten erklärt wird. Dies kann als Hinweis auf das im Sohlbereich des Wadis vermutete Bauelement angesehen werden. Die im Zuge der Feldkampagnen freigelegten Details am Anschlußpunkt der erforderlichen Überlaufmauer einschließlich eines sorgfältig konstruierten Widerlagers für einen großformatigen Kalksteinquader belegen die Existenz einer Überlaufmauer oder eines Dammes¹⁷⁰.

c) Bauanlage N4 zur Bewässerung der Südoase

Eine weitere Alternative zur Nutzung der Anlage nach dem Bühnenprinzip ist durch einen Damm bzw. eine Sperrmauer zum Südufer gegeben. Die dabei eingeschlossene Abspernung des südlichen Teiles des Wadiquerschnittes führt allerdings zu einer anderen Zielsetzung der Anlage N4, die dann der Bewässerung der Südoase hätte dienen müssen. Eine derartige Konzeption wurde bereits in früheren Arbeiten¹⁷¹ vermutet. Ein entsprechender Damm würde bei einer Höhe der Dammkrone von 1185,3 m ü.M. eine geringere Länge (ca. 120 m), aber eine größere Höhe (etwa 6 m) aufweisen als ein Damm bei einer Bühnenlösung zur Nordoase. Der zur Südoase führende Hauptzuleitungskanal hätte bei dieser Konstellation den heutigen Stromstrich des Wadis kreuzen müssen. Hochwasserabflüsse würden durch den freibleibenden, nördlichen Teil des Wadiquerschnittes schadlos abfließen, wo bei Zugrundelegung der heutigen Situation eine ausreichende, breite Abflußmöglichkeit besteht. Der Befund des Mauerwerks an der nördlichen Außenseite des Pfeilers 3 spricht allerdings dagegen, da er keinerlei Fließspuren aufweist, wie sie sich naturgemäß an dieser exponiertesten Stelle einer Bühnenlösung eingestellt hätten.

Sehr ungewöhnlich ist bei diesem Rekonstruktionsvorschlag die Lage der Ableitungsanlage in der Innenkurve des nach Südosten abbiegenden Wadiverlaufs. Ein Vergleich mit den anderen bekannten Stau- und Ableitungsanlagen spricht gegen die Einordnung der Anlage N4 als Funktionsbauwerk für die Bewässerung der Südoase. Die Höhenlagen der Schwellen von N4 und S5 sind bei Berücksichtigung des Abstandes der Anlagen, der entsprechenden Fließstrecke und des Längsgefälles durchaus vergleichbar. Ein Vergleich mit Hilfe der Sohlschwellen als einzig bekannten, hydraulisch wirksamen

169 vgl. Schmidt, *Bauanlagen*, 22.

170 vgl. Herberg, *Bauanlage A*, 115.

171 vgl. Schmidt, *Bauanlagen*, 22.

Einflußfaktoren zeigt, daß von N4 und S5 bezogen auf die Höhen dieselben Bewässerungsflächen erreicht werden konnten. Es kann kaum erklärt werden, warum bei gleich guter Zielerfüllung S5 aufgegeben wurde und die Bewässerung von der 1600 m wadiaufwärts gelegenen Anlage N4 betrieben wurde. Der sonst mit einer Standortveränderung beabsichtigte Gewinn an hydraulischer Höhe ist in diesem Fall nicht nachweisbar. Aufgrund dieser standortbedingten Argumente muß die Variante, mit Hilfe der Anlage N4 die Bewässerung der Südoase durchzuführen, als eher unwahrscheinlich angesehen werden. Bereits Herberg¹⁷² bemerkt, daß die Platzierung eines die Versorgung der Südoase sichernden Bauwerkes nahe der gegenüberliegenden Nordoase nicht rationell erscheint.

d) Bauanlage N4 als Funktionselement einer Vollabsperzung des Wadis

Als mögliche Rekonstruktionsvariante ist auch eine Absperzung des gesamten Wadiquerschnittes bei N4 denkbar¹⁷³.

Geht man eventuell von der Existenz eines zweiten, im Nordbereich der Anlage liegenden Auslasses aus, könnte die Bewässerung von Nord- und Südoase gleichzeitig von N4 durchgeführt worden sein. Diese aufgrund der bisherigen Baubefunde unrealistische Lösung bedingt außerdem, daß die unbedingt erforderliche Hochwasserentlastung künstlich zwischen den Auslässen, also im Bereich der Schwergewichtsmauer, angelegt sein mußte. Nimmt man das Niveau der Überlaufschwelle in der Höhe der obersten erhaltenen Steinquader der Pfahlquaderreihe (1185,3 m ü.M.) an, so ergibt sich bei der zur Verfügung stehenden Breite von 33,2 m ein relativ geringer Querschnitt für eine künstliche Hochwasserentlastung. Deren Leistungsfähigkeit ist abhängig von der nur fiktiv anzusetzenden Endhöhe der Bauanlage. Bei dem noch als realistisch anzusehenden Wert von 1188 m ü.M. ergibt sich für die Hochwasserentlastung eine maximale Leistungsfähigkeit von 217 m³/s. Unter der Annahme von zwei Auslässen mit den hydraulischen Kennwerten des bekannten, südlichen Auslasses besitzt die Gesamtanlage eine maximale hydraulische Leistungsfähigkeit von 456 m³/s, was etwa der Leistungsfähigkeit der erhaltenen Hochwasserentlastung des Nordbaus entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die zugrundegelegte Bauwerkshöhe (1188 m ü.M.) mit einer Durchlaßhöhe von 7,4 m bereits einen recht großen Wert darstellt.

Geht man auch für N4 von dem in Kap. 2.1.4 beschriebenen Wasserdargebot aus, wäre ein zusätzliches Bauelement für die Hochwasserentlastung erforderlich gewesen. Dieses hätte z. B. auf den Kalksteinhängen des Ġabal Balaq al-Awsaṭ oder auf dem nördlich an die Anlage anschließenden Lavariegel angeordnet sein müssen. Dies ist mit einer gleichzeitigen Bewässerung von Nord- und Südoase durch N4 nicht zu vereinbaren.

Die Rekonstruktion in dieser Form ist also als unwahrscheinlich anzusehen.

e) Bauanlage N4 in funktioneller Verbindung mit S4

Der gleichzeitige Betrieb von N4 und S4 unter Berücksichtigung eines beide Anlagen verbindenden Absperrrdammes wird bereits von Brunner¹⁷⁴ vorgeschlagen. Es handelt sich dabei um eine Erweiterung der beschriebenen Variante „N4 mit Wadi-Vollabsperzung“ (Version d). Tatsächlich scheint sich bei einer Betrachtung der Situation im Luftbild (s. Tafel 1) und im Feld eine derartige Kombination, die die Wasserversorgung von Nord- und Südoase gleichermaßen sicherstellt, anzubieten. Bei genauerer Betrachtung erweist sich jedoch, daß der korrespondierende Betrieb von N4 und S4 in der von Brunner beschriebenen Version unwahrscheinlich ist. Die Verbindung von N4 (Durchlaß mit in situ befindlicher Schwelle, H = 1181,60 m ü.M.) mit S4 (rekonstruierte Durchlaßschwelle, H = 1187,0 m ü.M.) würde zur Folge haben, daß bei N4 bereits etwa 80 m³/s zum Abfluß auf die Nordoase gelangen, wenn der Wasserspiegel die Schwelle von S4 erreicht. Zu beachten ist dabei, daß

172 vgl. Herberg, Bauanlage A, 119.

173 ebd.

174 vgl. Brunner, Erforschung, 110f.

dieser Wert ($80 \text{ m}^3/\text{s}$) nahezu die Hälfte der Abflußspitze eines mittleren Ereignisses darstellt. Aufgrund der relativ großen Höhenlage der Sohlschwelle von S4 müssen die Aufbauten dieser Ableitungsanlage sowie die Dammkrone eine Höhe von mindestens 1191 m ü.M. erreicht haben, um die plausible Wassertiefe im Durchlaß von 4 m zu ermöglichen. Für die Anlage N4 mit der Schwelle bei 1181,60 m ü.M. ergibt sich eine Wassertiefe im Auslaß von nahezu 10 m. Eine derartige Durchlaßhöhe ist selbst bei den letzten und größten Bauten aus der Betriebsperiode I nicht anzutreffen¹⁷⁵ und war wohl mit der zeitgenössischen Technologie nicht beherrschbar, so daß diese Rekonstruktionsvariante auszuschließen ist.

Dagegen spricht auch die Tatsache, daß im Auslaß von N4 bei einem Wasserspiegel von 1191 m ü.M. ein Abfluß von etwa $Q \approx 200 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht worden wäre, was etwa der doppelten Kapazität des Nordbaus N1 entspricht. Die dabei erforderlichen Dimensionen von Tosbecken und Hauptkanal überstiegen die technischen Möglichkeiten der Zeit erheblich. Außerdem hätte die der Anlage N4 zuzuordnende Bewässerungsfläche einen wesentlich größeren Umfang besessen als die während der späteren Periode I von Nordbau N1 und Hauptverteiler versorgte.

Trotz der großen hydraulischen Leistungsfähigkeit der Betriebsauslässe bei dieser Rekonstruktionsvariante wäre zur schadlosen Abführung der Hochwasserspitzen eine künstliche Hochwasserentlastung unabdingbar notwendig gewesen. Um einen sinnvollen Betriebsablauf zu ermöglichen, müßte dieses Überlaufbauwerk eine entsprechend breite Schwelle bei etwa 1190 m ü.M., also deutlich über der Schwelle von S4, besessen haben. Die gesicherte Gründung einer Hochwasserentlastung ist im Bereich N4 – Damm – S4 ist aufgrund der topographischen Gegebenheiten an keiner Stelle möglich, was ebenfalls gegen diese Rekonstruktionsvariante spricht.

Bei der notwendigen Bauhöhe der Anlagen ist zusätzlich ein entsprechend hoher Damm zum Nordufer des Wadis erforderlich, der unter Berücksichtigung der aktuellen Topographie erst im Bereich des jüngsten erhaltenen Hauptkanals Anschluß an die entsprechende Geländehöhe finden könnte. Die Stauraumbegrenzung wurde durch stetig ansteigendes Gelände gebildet, so daß die Vermutung, die künstliche Hochwasserableitung wäre über einen natürlichen Lavarücken in eine zur damaligen Zeit noch bestehende Geländevertiefung erfolgt, als unwahrscheinlich angesehen werden muß.

Die im Durchlaß von N4 nachgewiesene Schwellenerhöhung würde die Höhendifferenz zwischen den eventuell korrespondierenden Bauten N4 und S4 verringern. Allerdings ist die dabei erforderliche Erhöhung um 5,40 m aus konstruktiven Gründen auszuschließen. Dabei würde die Frage der schadlosen Hochwasserabführung weiterhin ungelöst bleiben.

Bei der abschließenden Betrachtung der diskutierten Rekonstruktionsvarianten hinsichtlich ihrer Funktionserfüllung (Ableitung zur Bewässerung, Hochwassersicherheit), der baulichen Realisierbarkeit und der Standortfaktoren und im Kontext zu zeitlich und funktionell korrespondierenden und konkurrierenden Bauanlagen wird deutlich, daß nur die Variante „modifiziertes Bühnenprinzip zur Bewässerung der Nordoase“ („b“) alle Anforderungen optimal erfüllt.

Mit der Bauanlage N4 liegt das älteste bekannte Bauwerk zur Ableitung von Bewässerungswasser zur Nordoase vor. Aufgrund der technisch und baulich hochstehenden Ausführung ist die Existenz von älteren Anlagen zu vermuten, die zumindest in Resten noch unter jüngeren Bewässerungssedimenten erhalten sein können.

Die bei der Variante „Bühnenprinzip zur Südoase“ im Sinne eines ausschließenden Argumentes angeführte Möglichkeit, mit N4 und S5 (s. Kap. 4.6.2) aufgrund ähnlicher Höhenverhältnisse die gleichen

175 Die größte bekannte Wassertiefe ist im Südbau mit etwa 7 m zu finden.

Bewässerungsflächen versorgen zu können, führt zu dem Schluß, daß beide Bauten zeitgleich zur Versorgung von Nord- und Südoase betrieben worden sein könnten. Der durch den Absperrdamm bei S5 bewirkte Staubereich erreichte auch N4; dabei fügt sich die um 1 m größere Höhe der Schwelle von N4 gegenüber der von S5 gut ein. Mit Hilfe der Einbindung von N4 in den Staubereich wird die in Richtung der Nordoase abgeleitete Wassermenge vergrößert, auch eine künstliche Erhöhung der Wadisohle ist nicht erforderlich. Der unter den Sedimenten der Nordoase vermutete Lavariegel bildete die nördliche Stauraumbegrenzung und stellte gleichzeitig eine natürliche Hochwasserentlastung dar. An der Anlage N4 war dadurch auch kein Funktionselement zur Hochwasserableitung erforderlich. Der von N4 wegführende Hauptkanal hätte allerdings das Hindernis des Lavariegels mit Hilfe eines Durchbruchs überwinden müssen. Da derartige Felsdurchbrüche aus antiker Zeit mehrfach in Märíb vorzufinden sind, ist eine derartige Annahme plausibel.

Auch die auf bauhistorischen Untersuchungen basierenden Überlegungen, N4 sei älteren Baudatums als S5¹⁷⁶, lassen sich in die Rekonstruktion einer funktionellen Verknüpfung beider Anlagen einfügen. Es ist vorstellbar, daß N4 zuerst funktionell unabhängig die Versorgung der Nordoase sicherstellte (nach modifiziertem Bühnenprinzip), später nach einer Änderung der Gesamtkonzeption mit der Anlage S5 korrespondierte. Die Erhöhung der Sohlschwelle um den Betrag von 0,6 m bei N4 wäre zu dem Zeitpunkt der Umstellung erfolgt.

Bauanlage N4/1

Aufgrund der Ergebnisse der jüngeren Feldkampagnen liegen zusätzliche Erkenntnisse vor, mit deren Hilfe mögliche Rekonstruktionen älterer Bauwerkszustände konkretisiert werden können.

Es kann nun als sicher gelten, daß neben der Erhöhung der Durchlaßschwelle die Pfahlquaderreihe eines der jüngsten Bauteile der Gesamtanlage N4 darstellt. Die Reihe wurde zwischen die bestehenden Pfeilerbauwerke eingepaßt. Unstimmigkeiten, vor allem hinsichtlich der gebogenen Linienführung, am südlichen Ende¹⁷⁷ können möglicherweise auf die Bedingungen im Basaltuntergrund, der zur Verankerung der Steinbalken diente, zurückgeführt werden. Es ist aber auch vorstellbar, daß die Unregelmäßigkeiten Ausdruck von späteren Reparaturen als Folge von Beschädigungen bei Hochwasserereignissen sind. Evtl. waren auch Veränderungen an der Anbindung der in diesem Bereich anschließenden Wange des Hauptkanals Anlaß für Ergänzungen der Steinbalkenreihe; im Gegensatz zu der Darstellung von Herberg¹⁷⁸ ist die frühere Existenz einer Wangenmauer als Tosbeckenbegrenzung hinter dem Pfeiler durchaus möglich. Erst als Folge der Abtragung dieses Bauteils wäre dann die Pfahlquaderreihe entsprechend ergänzt worden.

Gleichzeitig mit den genannten Veränderungen wurde die Schwergewichtsmauer zwischen den Pfeilern 2 und 3 errichtet, die durch die Pfahlquaderreihe abgestützt wurde. Bei den jüngeren Feldarbeiten wurde die wasserseitige Front (Schauseite) der Mauer bis auf den anstehenden Basaltuntergrund freigelegt (Tafel 7 d). Das Mauerinnere macht einen ungeordneten Eindruck, die Frontmauer ist lediglich vorgeblendet, was aufgrund der herrschenden Druckverhältnisse auch ausreichend war. Es ist zu vermuten, daß auf der Oberseite der gesamten Schwergewichtsmauer Kalksteinplatten bzw. -quader angeordnet waren (die Verwendung von Putzmaterial ist für den in Frage kommenden Zeitpunkt auszuschließen).

Die von Herberg vorgelegte Übersicht der Bauphasen¹⁷⁹ der Anlage N4 bedarf aufgrund der neuen Erkenntnisse einer teilweisen Überarbeitung. Als wesentliche Entdeckungen müssen im Bereich vor der Frontseite der Schwergewichtsmauer die Umrisse eines weiteren Pfeilers („Pfeiler 4“) sowie ein ausgeprägter Lavarücken, dessen Fließrichtung mit der Auslaßrichtung übereinstimmt, genannt werden (s. Abb. 37 und Tafel 7 d). Dieser neue Pfeiler liegt zum größten Teil unter der der ältesten Bau-

176 vgl. Herberg, Bauanlage A, 120.

177 ebd., 103f.

178 ebd., 117.

179 ebd., Tafel III.

phase zugerechneten Schwergewichtsmauer. Dabei mag es ein Zufall sein, daß über diesem Pfeiler die Pfahlquaderreihe ihre höchsten erhaltenen Reihen aufweist. Bei den Überlegungen über den früheren Zustand der Anlage steht die Suche nach einem dem neuen zuzuordnenden, weiteren Pfeiler bzw. nach dem älteren Auslaß im Mittelpunkt. Einen Hinweis darauf können die ebenfalls neuentdeckten Reste einer weiteren Anschlußwange geben, die südöstlich hinter Pfeiler 3 entdeckt wurden. Die von anderen Bauwerken¹⁸⁰ bekannte gestufte Anordnung zeigt an, daß südlich der Wange Wasser floß bzw. in einem dort befindlichen Tosbecken Turbulenzen abgebaut werden sollten. Deren Richtung entspricht der Fließrichtung des jüngsten Auslasses und gestattet in Verbindung mit der Kurvature des Pfeilers 4 die Rekonstruktion eines älteren Auslasses. Dazu wären sowohl die Kurvature zu einem vollständigen Pfeiler als auch die Kanalwange zu einem dazu symmetrischen weiteren Pfeiler zu ergänzen. Die sich daraus ergebende Durchlaßbreite wäre allerdings ungewöhnlich gering gewesen. Gegen eine derartige Lösung spricht auch, daß bei den Freileigungsarbeiten, die bis auf den anstehenden Fels vorgenommen wurden, die für die erwartete Kurvature notwendigen Fundamente und Einarbeitungen nicht angetroffen wurden.

4.3 BAUANLAGE N5 („BAU C“)

In einem Abstand von etwa 1000 m zum großen Damm befindet sich im nördlichen Uferbereich der heutigen Waditopographie das Bauwerk N5 („Bau C“) (Abb. 38 u. Tafel 9 b). Die Bezeichnung N5 wurde als vorläufiger Titel aufgrund der lage- und höhenmäßigen Zuordnung dieses Bauwerks zu den Ableitungsbauwerken auf die Nordoase gewählt. In einer ersten Beschreibung identifiziert Schmidt¹⁸¹ die Anlage als wasserwirtschaftliches Bauwerk. In einem steingerechten Aufnahmeplan sind die oberirdisch sichtbaren Teile untersucht und aufgenommen worden, weitergehende Ansätze einer Deutung enthält die neuere Untersuchung von Herberg¹⁸².

Die Durchlaßrichtung, die etwa senkrecht zum heutigen Wadiverlauf liegt, und vor allem die vom Wadi abgewandten Rundungen weisen nicht auf eine Funktion als Ableitungsbauwerk aus dem Wadi hin, sondern geben einen zum Wadi gerichteten Abfluß an, der auch durch zahlreiche Spuren der Wassererosion belegt ist. Die beiden erst später angesetzten Flügelmauern zeigen die Möglichkeit eines Auslasses aus einem Becken an. Die Flügelmauern geben einen Hinweis auf die Fließrichtung innerhalb von Wasserbauten, allerdings sind derartige Elemente nicht nur im Anströmbereich (wie im Rahmen der Bewässerungsnetze), sondern auch unterwasserseitig (wie bei der Hauptverteileranlage und bei N4) anzutreffen. Zu beachten ist auch, daß die Versprünge in Flügelmauern stets die Fließrichtung des vorbeiströmenden Wassers anzeigen.

Gegen die Funktion als Ableitungsbauwerk aus dem Wadi spricht die für diesen Zweck relativ geringe Durchlaßbreite von 1,80 m, zumal zu bedenken ist, daß im Verlauf von Hauptkanälen auf der Oase wesentlich größere Querschnittsparameter üblich waren¹⁸³. Die Einbindung der tief hinabreichenden Sohlschwelle ($H = 1180,66$ m ü. M.) in das seitliche Mauerwerk der Pfeilerelemente deutet auf die Funktion eines Überlaufes hin. Die Sohlschwelle kann aufgrund dieser Einbindung nicht im Zuge einer Bauwerkserhöhung entstanden sein, sie zeigt vielmehr eine schon bei der Erstellung des Bau-

180 Dieses Baudetail ist sowohl am Südbau S1 als auch an den Wangen des Auslasses von N4 zu finden.

181 vgl. Schmidt, Bauanlagen, 25.

182 vgl. W. Herberg, Beobachtungen an Bauanlage C und nahe gelegenen Wasserwirtschaftsbauten im Wadi Dana, 123 ff. ABADY IV (1988).

183 Vgl. z. B. den in Kap. 6.6 a. beschriebenen Durchlaß in einem Hauptkanal der Nordoase mit den Maßen $B = 2,7$ m, $H = 4,2$ m.

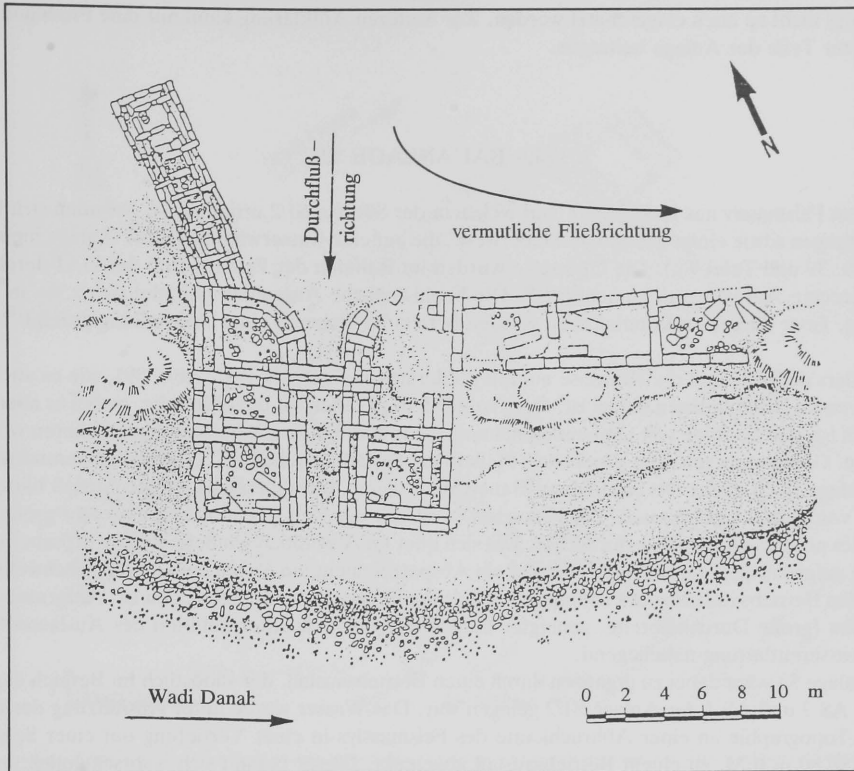


Abb. 38. Bauwerk N5 („Bau C“) nach: Schmidt 1982, Tafel 140.

werks planmäßig beabsichtigte Überfallhöhe an. Eine derartige, hoch über der aktuellen und wohl auch der damaligen Wadisohle liegende Schwelle ist kaum vorstellbar bei einem Ableitungsbauwerk, welches ohne einen anstauenden Absperrdamm nach dem Buhnenprinzip funktioniert.

Bei ihrer zeitlichen Einordnung setzen Schmidt und Herberg die Entstehung der Anlage erst nach der Aufgabe der Bauten A und B an, nach Herberg ist der Bau aber vor Erstellung von Süd- und Nordbau, also in der Betriebsperiode III, errichtet worden. Von Interesse ist auch die Feststellung, daß die östliche Flügelmauer von N5 bereits vor den übrigen Bauelementen erstellt wurde, sie war wohl bereits Bestandteil eines älteren Funktionsbaus.

Da es sich bei N5 in der erhaltenen Konstellation mit großer Wahrscheinlichkeit nicht um ein Bauwerk zur Wasserentnahme aus dem Wadi handelt, ist die Anlage auch nicht mit den bekannten Bauwerken vergleichbar. Als Zweckbestimmung sind aus dem bewässerungstechnischen Bereich nur die Funktion als Überlauf eines Beckens oder Randkanals (Hauptkanals), die Elemente des Bewässerungsnetzes auf der Nordoase gewesen wären, möglich. Gerade die Anordnung und Ausführung der Flügelmauern zeigt einen in östlicher Richtung weiterfließenden Kanal an¹⁸⁴. Die Bedeutung des Bauwerks sollte

184 Einen funktionell vergleichbaren Überlauf zur Regulierung des Kanalwasserstandes („damir“) zeigt

Serjeant aus Hadramaut. Vgl. Serjeant, Irrigation Systems, 43, Fig. 2.

allerdings nicht zu hoch eingeschätzt werden. Zur weiteren Aufklärung kann nur eine Freilegung verschütteter Teile der Anlage beitragen.

4.4 BAUANLAGE S3

Auf dem Felsmassiv aus Kalkgestein, auf welchem der Südbau S1/2 errichtet ist, befinden sich Felsarbeiten sowie einige Reste von Mauerwerk, die auf eine wasserwirtschaftliche Anlage hinweisen (s. Abb. 39 und Tafel 9 c). Die Überreste wurden im Rahmen der Feldarbeiten des DAI durch eine steingerechte Aufnahme dokumentiert¹⁸⁵. Die bauhistorische Aufnahme befindet sich z.Zt. in Bearbeitung. Erste Rekonstruktionsskizzen wurden bereits im Rahmen einer Ausstellung gezeigt¹⁸⁶.

Besonders deutlich sind die Hinweise auf ein pfeilerartiges Bauwerk (vgl. Abb. 39), wie es auch von mehreren anderen Anlagen belegt ist. Der Grundriß des Pfeilers ist unvollständig, wobei es allerdings möglich ist, daß im Zuge von Umbaumaßnahmen die ursprünglichen Abarbeitungen neueren weichen mußten. Gemeinsam mit dem nördlichen Pfeiler des Auslaßbereiches AS 3 („Hochwasserentlastung“ der Anlage S1/2) bildet das erkennbare Bauelement einen Auslaßbereich. Dieser Auslaß hätte eine Breite von etwa 9,5 m besessen. Die geneigte Oberfläche des Kalkfelsens macht eine sehr große Bauhöhe des nördlichen Pfeilers erforderlich. Die sich quer im Auslaßbereich befindenden Abarbeitungen deuten aufgrund ihres Grundrisses eher auf ein Absperrelement hin als auf eine Durchlaßschwelle, wie sie in den Betriebsauslässen der bekannten Ableitungsbauwerke stets anzutreffen ist. Aufgrund dieser Kriterien (große Durchlaßbreite, geneigter Sohlbereich) ist eine Interpretation des Auslasses S3 als Hochwasserentlastung naheliegend.

Die Anlage S3 wäre dabei zu ergänzen durch einen Betriebsauslaß, der südöstlich im Bereich der Elemente AS 3 und AS 4 der Anlage S1/2 gelegen war. Das Wasser wurde unter Ausnutzung der natürlichen Topographie an einer Abbruchkante des Felsmassivs in einer Vertiefung mit einer Sohlhöhe von 1180,80 m ü.M. zu einem Betriebsauslaß abgelenkt. Dieser befand sich wahrscheinlich an dem Auslaßbereich AS 4. Der natürlich vorhandene Auslaßbereich AS 3 wäre abgesperrt gewesen, dies kann durch einige Abarbeitungen am westlichen Ende von AS 3 belegt werden. Ein sinnvoller Betrieb einer derart konzipierten Anlage S3 würde sich dadurch ergeben, daß der als Hochwasserentlastung dienende Bereich teilweise verschlossen (mit einer minimalen Sohlhöhe bei 1187,50 m ü.M.) war.

Mit der Bauanlage S3 wurde die Folge wasserwirtschaftliche Bauwerke auf diesem Felsmassiv am Südufer des Wadis eröffnet. Mehrere in Form von Felsarbeiten erhaltene Strukturen überlagern sich, wodurch mehrfache Veränderungen und Umbauten angezeigt werden. Verschiedene Interpretationsmöglichkeiten wurden, wie erwähnt, durch das DAI bereits vorgestellt. Es ist dabei anzunehmen, daß die einzelnen Lösungen nur relativ kurzlebige Zwischenstadien darstellen.

Die funktionelle Verbindung der Anlage S3 mit der am nördlichen Wadiufer liegenden Anlage N3 ist zu vermuten, so daß damit die erste Vollabspernung des Wadis an dieser Stelle vorläge. Diese wäre somit älter als die Anlage S2, die v. Wissmann als älteste vollständige Talabspernung ansieht¹⁸⁷.

185 Die Aufnahmepläne sind bisher nicht veröffentlicht. Die Verwendung für eine Auswertung in funktionaler Hinsicht wurde freundlicherweise durch Prof. Schmidt gestattet.

186 Jemen-Ausstellung des Staatl. Völkerkundemuseums München 1987.

187 vgl. v. Wissmann, Mauer, 48.

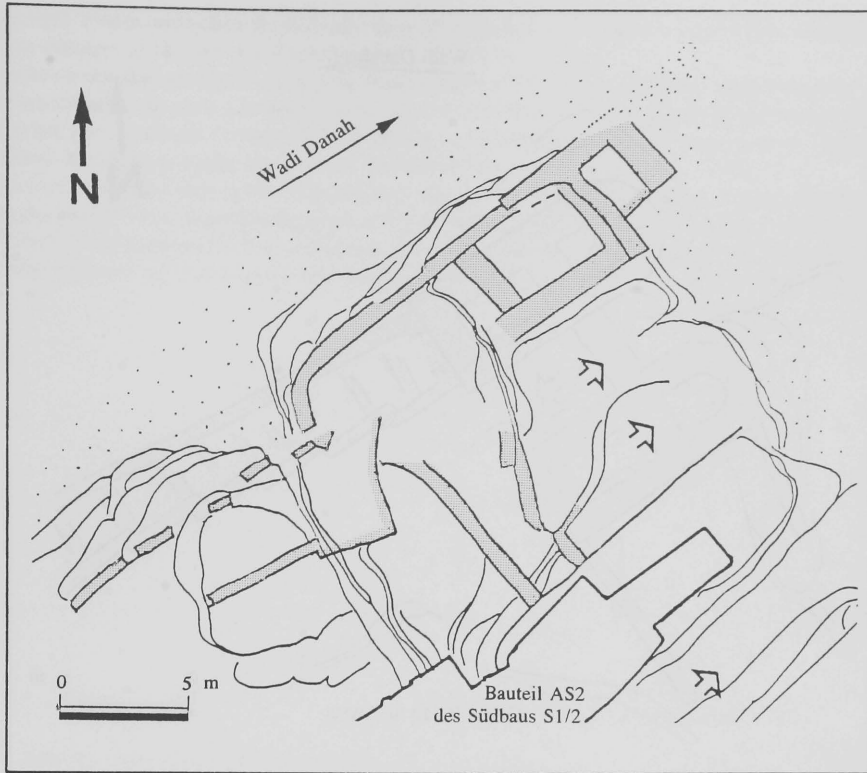


Abb. 39. Grundriß der Bauanlage S3.

4.5 BAUANLAGE S4

Auf den unteren Felsausläufern des Ġabal Balaq al-Awsaṭ sind etwa 150 m östlich des Südbaus S1/2 Felsabarbeitungen und Steinquader zu finden, die die Überreste des Bauwerks S4 bilden. Die bereits erfolgte steingerechte Aufnahme ist bisher unveröffentlicht. Im folgenden wird das Bauwerk nach wasserwirtschaftlichen Kriterien beschrieben und interpretiert.

Der Durchlaß der Anlage kann eindeutig in den sehr exakten Abarbeitungen in dem ansteigenden Felsuntergrund identifiziert werden (s. Abb. 40). Die begrenzenden Pfeiler ähneln hinsichtlich der Grundrißform und Dimensionen den Pfeilern des älteren Bauwerkes S5 (s. Abb. 42). Die Sohle in dem Durchlaß, der eine Breite $B = 3,26$ m besitzt, steigt von 1186,59 m ü.M. am nördlichen Pfeiler auf 1187,50 m ü.M. am südlichen Pfeiler an. Innerhalb des Durchlasses sind einige Abarbeitungen vorhanden, so daß die Existenz einer Sohlschwelle, die den abfallenden Untergrund ausglich, anzunehmen ist. Das Wasser strömte in den sich anschließenden Hauptkanal, der das Wasser den Bewässerungsflächen der Südoase zuleitete.

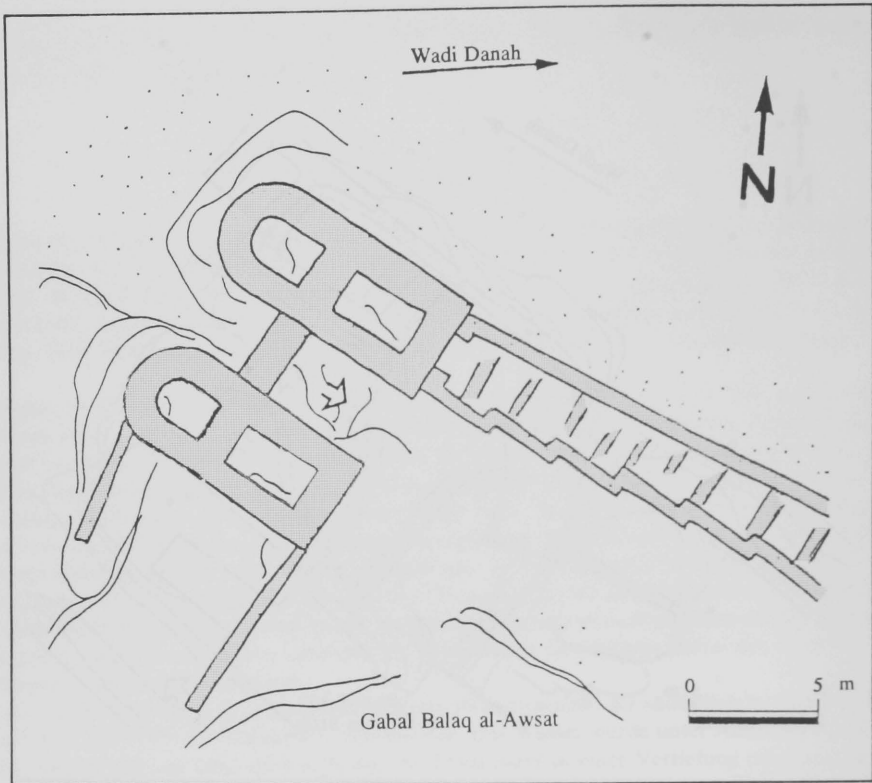


Abb. 40. Grundriß Bauanlage S4.

Die Überreste der Anlage S4 waren bereits Gegenstand früherer Untersuchungen. Schon Audouin erfaßt in seinem Plan¹⁸⁸ die Abarbeitungen. In dieser ersten Interpretation ist versucht worden, sämtliche Überreste im Umfeld des Südbaus in einer gemeinsamen Deutung zu erfassen. Dies führt schließlich zu dem Ergebnis, daß in dem Durchlaß von S4 eine nach Westen weisende Fließrichtung angenommen wird. Auf der Grundlage der Informationen von Audouin ist der Vorschlag von Ryckmans¹⁸⁹ entstanden, welcher die Abarbeitungen als Überreste einer Kultstätte zur Anrufung der Götter um Wasser und Fruchtbarkeit deutet. Zwischen dem Teilungsbauwerk AS5 des Südbaus S1 und der Anlage S4 beinhaltet seine Rekonstruktion einen heiligen Teich, dabei würde S4 den Auslaß aus diesem Teich bilden. Die Steinbalken, die dem jüngsten Hauptkanal zuzurechnen sind, werden als Begrenzung des Teiches und teilweise als Treppe angesehen. Die Audouin und Ryckmans gemeinsame Fehleinschätzung besteht aus dem Versuch, sämtliche Bauteile und Felsabarbeitungen einem einheitlichen Funktionszeitraum zuzuordnen.

Die auf ein zum Wadi hin gerichtetes Pfeilerelement deutenden Felsabarbeitungen in der Nähe von S4

188 in Dayton, PSAS 9, 1979, 128f.

189 vgl. Ryckmans, Barrage, 28ff.

können evtl. einem seitlichen Auslaß aus dem Hauptkanal zur Südoase zugerechnet werden. Die Situation erinnert an die bei der Bauanlage N5 („Bau C“).

Die Funktion des Bauwerkes S4 nach dem Bühnenprinzip wird ausgeschlossen, weil der relativ große Höhenunterschied von etwa 6 m zwischen der Durchlaßsohle und dem Stromstrich des Wadis nicht zu überwinden war. Auch ein Damm zur Verbindung der Bauwerke S4 und N4 war nicht zu realisieren; die Gründe für diese Aussage sind bei der Beschreibung von N4 erläutert.

Das Bauwerk S4 kann eine Ableitungsfunktion nur in Verbindung mit einem Absperrdamm erfüllt haben, der von S4 zum gegenüberliegenden Ġabal Balaq al-Qiblī geführt hat. Dieser Damm mußte eine Höhe von mindestens 11,50 m aufweisen. Es ist anzunehmen, daß am nördlichen Dammende ein Ableitungsbauwerk zur Versorgung der Nordoase bestand. Bei einer derartigen Lösung würde sich

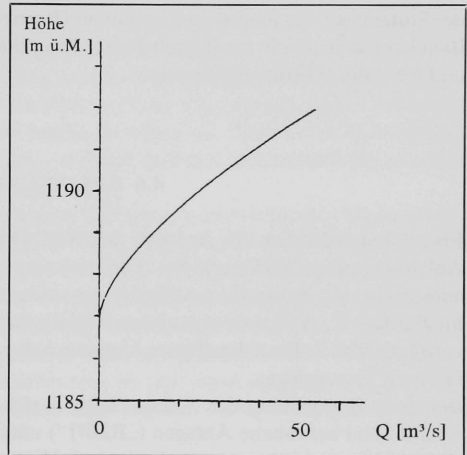


Abb. 41. Schlüsselkurve des Durchlasses bei S4.

das Bauwerk N3 gut einfügen, das in einer Höhe von 1188 m ü.M. unter den Resten des jüngsten Absperrdammes AE vermutet wird (s. Tafel 1 und Kap. 4.1). Die Bauwerke N3 und S4 hätten gemeinsam die Versorgung der Nord- und Südoase sicherstellen können. Diese Konzeption erfordert unbedingt eine Einrichtung zur Hochwasserentlastung, die den Absperrdamm und die Ableitungsbauwerke vor Schäden schützte. Auf den Felsabhängen in der Nähe von S4 ist der Bau einer derartigen Anlage nicht möglich. Die Hochwasserentlastung muß daher zwingend in der Nähe von N3 bestanden haben. Die Fließrichtung dieser zusätzlichen Ableitungsmöglichkeit muß zurück in das Wādī Dana gerichtet gewesen sein, da zu diesem Zeitpunkt der Bereich des heutigen Wādī Ġufaina noch von zusammenhängenden Bewässerungsflächen überdeckt war. Also muß die Hochwasserentlastung südlich des Betriebsauslasses von N3 angeordnet gewesen sein.

In der Nachbarschaft von S4 können aufgrund von Felsarbeiten bergseitig, also südlich des Auslasses, weitere Bauelemente rekonstruiert werden, die zur abschließenden Stauraumbegrenzung gegen den Abhang des Ġabal Balaq notwendig waren. Zum einen ist ein Absperrelement, möglicherweise ein Damm, zu nennen, welches direkt hangseitig an den Südpfeiler von S4 anschloß, zur Abstützung diente dabei eine Mauer, welche die genaue Verlängerung der östlichen Pfeilerwand bildete. Bis in die Höhe $H = 1191,5$ m ü.M. kann dieses Bauteil auf dem Felsabhang verfolgt werden. Mit diesem Niveau ist auch die Höhenlage des maximalen Wasserspiegels im Zusammenhang mit der Anlage S4 beschrieben. Die hydraulische Kapazität des Durchlasses ist durch die in Abb. 44 dargestellte Schlüsselkurve

beschrieben, die maximale Leistungsfähigkeit beträgt $Q_{\max} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Durchlaßkapazität ähnelt damit den für die Bauwerke S5 und N4 ermittelten Werten.

An der Ost-(Rück-)wand des nördlichen Pfeilers von S4 schließen Abarbeitungen an, die die Existenz einer Schwergewichtsmauer dokumentieren und sich über eine Länge von 17 m erstrecken. Diese Mauer bildete das Widerlager für den geschütteten Absperrdamm und ermöglichte den Anschluß der nördlichen Kanalwange des zu den Bewässerungsflächen der Südoase führenden Hauptkanals.

Zusammenfassend kann das Bauwerk S4 als eigenständiges Ableitungsbauwerk für die Bewässerung der Südoase gesehen werden. Die Anlage ist bzgl. Konzeption und Leistungsfähigkeit durchaus den bekannten Bauwerken (z. B. S5) vergleichbar.

Die weiteren auf dem Felsabhang zwischen S4 und S1/2 befindlichen Felsabarbeitungen sind zum Teil der Stützmauer des jüngsten Hauptkanals (Betriebsperiode I) zuzurechnen, gehören zum anderen Teil Bauelementen an, die am Beginn älterer Hauptkanäle (Betriebsperioden II und III) angeordnet waren und wohl der Abstützung dienten.

4.6 BAUANLAGE S6/5 („BAU B“)

Etwa 2 km südöstlich des Austritts des Wādī Dana aus dem Kalksteingebirge sind die Überreste der Ableitungsanlage S6/5 zu finden. Die umfangreiche Anlage wurde erstmals von Wade im Jahre 1976 aufgesucht, sie deutet die „As-Safif“ genannte Anlage bereits als eine N4 (Bau A) ähnelnde Ableitungsanlage¹⁹⁰. Aufgrund von ersten Feldarbeiten des DAI wurde eine Beschreibung dieses „Bau B“ veröffentlicht¹⁹¹. Eine detaillierte Untersuchung mit einem steingerechten Aufnahmeplan wurde von Herberg¹⁹² vorgelegt.

Bei einer Betrachtung der Anlage zeigt es sich, daß „Bau B“ in zwei zu unterschiedlichen Zeiten erstellte und betriebene Anlagen („B2/B1“) unterteilt werden muß, die funktionell als S6/5 den südlichen Ableitungsbauten zuzurechnen sind. Herberg schließt eine direkte zeitliche Abfolge der Anlage S6 und der jüngeren Anlage S5 aus, da er aufgrund baulicher Hinweispunkte einen die Gesamtanlage kreuzenden, zeitlich zwischen beiden Teilanlagen liegenden Kanal rekonstruiert. Funktionell ergibt sich bei einer Gesamtschau aller Bewässerungsbauten hinsichtlich Betriebszeit und Anordnung keine Notwendigkeit für diesen Kanal.

Die Bauanlage S6/5 ist mit umfangreichen Einarbeitungen auf den anstehenden Kalkfelsen gegründet (s. Abb. 45). Sie ist am südlichen, rechten Wadiufer gelegen, allerdings geben die zum heutigen Stromstrich verdrehte Auslaßrichtung und die größere Höhenlage der Sohlschwellen deutliche Hinweise auf das zur antiken Betriebszeit hinsichtlich Trassenverlauf und Höhenlage der Sohle völlig anders verlaufende Wadi. Bei einer Rekonstruktion der antiken Bewässerungsanlagen ist von dieser abweichenden Waditopographie auszugehen, so daß einige Varianten a priori ausgeschlossen werden müssen.

Bei der Beschreibung der Teilanlagen wird zuerst das ältere Bauwerk S6 beschrieben, da bei dem jüngeren Bau S5 z. T. Bauelemente von S6 übernommen sind.

190 vgl. Wade, Observations, Abb. 4, 5. Auffällig ist, daß Wade Fotografien der Umgebung von S6/5 zeigt, aber in ihrer Kartenskizze eine Lage des Bauwerks angibt, die für N5 (Bau C) zutreffen würde!

191 vgl. Schmidt, Bauanlagen, 22.

192 vgl. Herberg, Baukomplex B, 33ff.

4.6.1 Bauanlage S6

Dieses als „B1“ bezeichnete Ableitungsbauwerk¹⁹³ wird im wesentlichen aus drei in Fundamenten und Felsarbeiten erhaltenen Pfeilern gebildet (s. Abb. 42 und Tafel 9 d). In den beiden Auslässen mit Breiten von 4,60 m und 4,70 m sind wannenartige Einarbeitungen vorhanden, die der Aufnahme der Sohlswellen dienten. Die Schwellenhöhe muß bei dem rechten, südlichen Auslaß aufgrund des ansteigenden Felsuntergrundes 1176,70 m ü.M. betragen haben, der nördliche besaß eine Höhe von mindestens 1175,80 m ü.M., es kann jedoch aufgrund der hier wesentlich schwächeren Eintiefung eine Angleichung auf ebenfalls 1176,70 m ü.M. angenommen werden. Östlich an den südlichen Pfeiler angrenzend sind Fundamentreste eines langgestreckten Anschlußbauwerks zu finden, welches einen Tosbeckenbereich einfaßte und den Anschluß einer Kanalwange ermöglichte, diese Anordnung ist mit anderen Anlagen (S1, N1) vergleichbar. Von dem südlichen Pfeiler ausgehend sind nach Süden auf dem weiter ansteigenden Felsen bis in die Höhe von 1182,0 m ü.M. Einarbeitungen zu finden, die als Bestandteile eines zu S6 gehörenden Dammes angesehen werden können. Dadurch kann die Bauhöhe der Gesamtanlage S6 eingegrenzt werden¹⁹⁴. Die Schlüsselkurve (Abb. 43) zeigt allerdings, daß bereits bei einem Wasserspiegel von 1181 m ü.M. durch die beiden Auslässe ein Abfluß von über 140 m³/s realisierbar ist. Dies muß als Hinweis darauf verstanden werden, daß der durchschnittlich erwartete Betriebswasserstand in den Auslässen wesentlich geringer war.

Bei der Hinzuziehung einer Rekonstruktion der zur antiken Betriebszeit abweichenden Wadisituation und der Hinweise auf einen Damm zwischen S6 und dem Ġabal Balaq al-Awsaţ bieten sich mehrere alternative Rekonstruktionsmöglichkeiten an (s. Abb. 44 und Tafel 10). Die Funktion als Ableitungsbauwerk nach dem Bühnenprinzip zur Bewässerung der Nordoase kann allerdings ausgeschlossen werden, weil dabei der zum Zwecke der Hochwasserabführung erforderliche freie Teil des Wadiquerschnittes südlich der Auslässe gelegen haben müßte; dieser Bereich war jedoch durch den erwähnten Damm abgesperrt. Für die Rekonstruktion der Funktionsweise ist zum einen die Ableitung nach dem Bühnenprinzip zur Südoase denkbar, zum anderen kann auch ein das Tal vollständig absperrender Damm bestanden haben.

a) Bauanlage S6 zur Bewässerung der Südoase mittels Bühnenprinzip

Die vorgefundenen Bauwerksreste deuten auf diese naheliegende Funktionsweise hin, die Entnahmebauwerke hätten dabei am Kopf einer in das Wadi hineinreichenden Buhne gelegen. Der südliche Teil des Wadiquerschnittes wurde durch einen etwa 65 m langen und damit relativ kleinen Damm (= Buhne) geschlossen, der auf dem ansteigenden Fels durch Einarbeitungen belegt ist. Die Entnahme des Bewässerungswassers befand sich in idealer Weise an der Außenseite der Krümmung des in diesem Bereich nach Osten abbiegenden Wadis, wobei die seinerzeit abweichende Topographie zu bedenken ist. Daher war es möglich, mit einer geradlinigen Trassenführung des Hauptkanals die Bewässerungsflächen der damaligen Südoase zu erreichen. Es war keine „nahezu viertelkreisförmige Krümmung“¹⁹⁵ erforderlich, um die Uferzone zu erreichen. Die Höhenlage der Sohlswellen in den Auslässen entsprach etwa der Höhe der Wadisohle im Stromstrich. Bei der Betrachtung der Höhenverhältnisse zeigt sich, daß bereits auf den nahegelegenen westlichsten Teilen der Südoase ein Bewässerungsbetrieb möglich ist. Aufgrund der zur antiken Betriebszeit weiter nördlich verlaufenden Waditrasse berührte der Hauptkanal von S6 hier Bereiche, deren Höhenlage eine Bewässerung zuließ. Diese Rekonstruk-

193 ebd., 36.

194 ebd., 40.

195 ebd., 50.

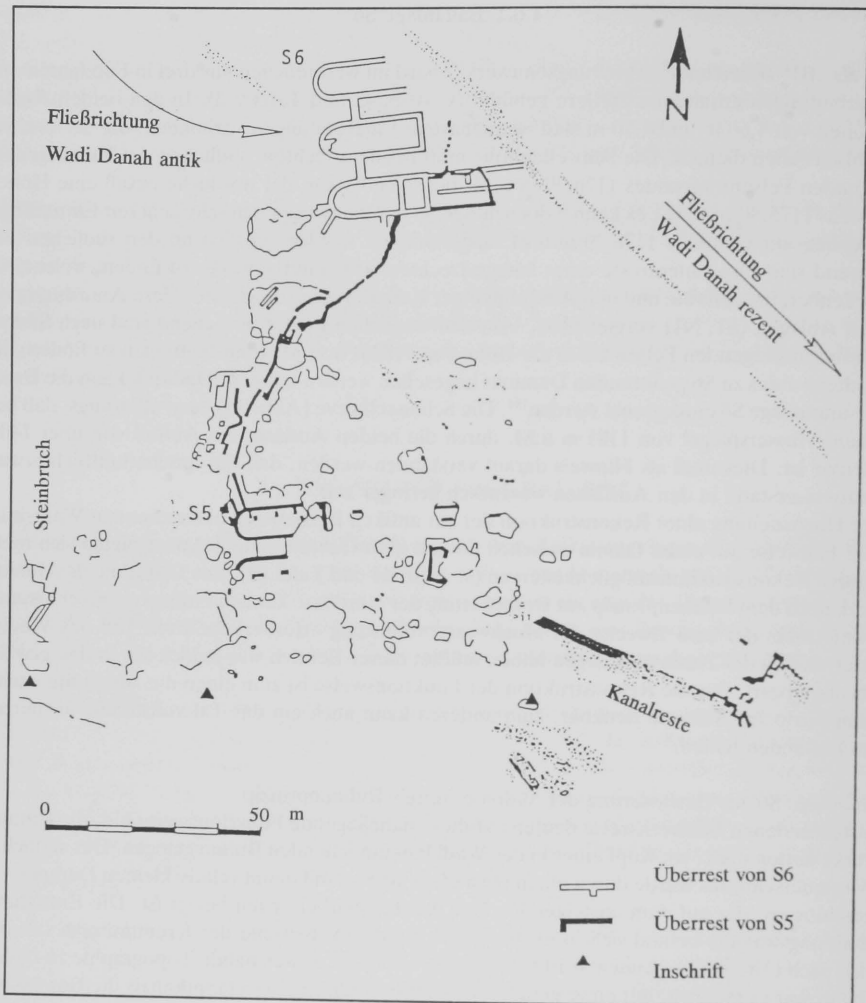


Abb. 42. Grundriß der Überreste der Bauanlage S6/5 („Bau B“) aus: Herberg: Baukomplex B, a.O. (s. Anm. 53).

tion, die dem Lösungsvorschlag (1.) von Herberg¹⁹⁶ entspricht, ist leicht um ein niedriges Dammbauwerk im Bereich der Wadisohle zu ergänzen, um mit Hilfe der Wasserspiegelerhöhung die Effektivität

¹⁹⁶ Herberg (ebd., 51) macht 4 Rekonstruktionsvorschläge:

1. Der antike Stromstrich lag wenige Meter höher als heute.
2. Ein niedriger Damm diente der Wasserspiegelerhöhung an S6.

3. Die Anlage S6 lag an der Wurzel einer relativ langen Buhne.

4. Das Wadi war durch einen Damm abgesperrt.

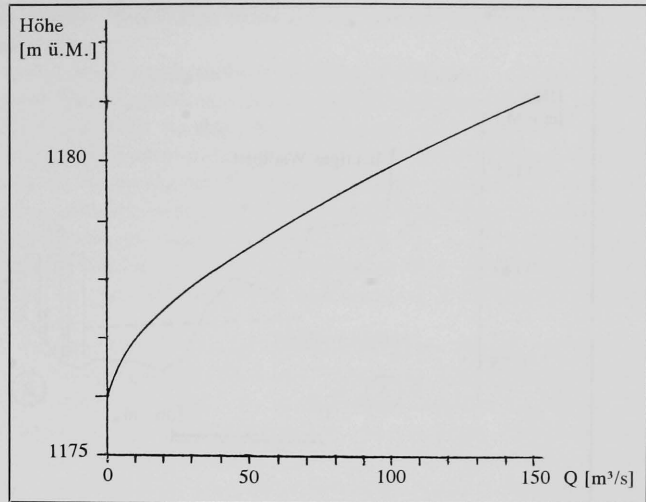


Abb. 43. Schlüsselkurve S6.

der Entnahme vor allem bei geringen Abflüssen zu erhöhen. Eine derartige Erweiterung des Bühnenprinzips entspricht dem Lösungsvorschlag (2.) von Herberg.

Eine Rekonstruktion, die die Anlage S6 als Entnahmebauwerk am Beginn einer Buhne vorsieht, hätte aufgrund der Höhenverhältnisse eine relativ große Länge des Bauwerks erfordert, da im Gegensatz zu der von Herberg vorgeschlagenen Version (3.) eine derartige Buhne nicht zum anderen Ufer reichen würde, sondern im Wadibett gegen die Fließrichtung anzuordnen wäre.

Die Rekonstruktionsvariante mit Einbeziehung einer zum Nordufer führenden Buhne, um auf diese Weise eine Bewässerung der Nordoase zu ermöglichen, ist auszuschließen, da der dabei verbleibende freie Querschnitt südlich der Auslässe für eine schadlose Abführung der auftretenden Hochwasserspitzen nicht ausgereicht hätte. Außerdem ist die Existenz eines Dammbauwerks durch die steingerechte Aufnahme eindeutig nachgewiesen.

b) Bauanlage S6 als Bestandteil einer Vollabsperrrung des Wadis

Eine weitere Rekonstruktionsmöglichkeit, die die Ergebnisse der bauhistorischen Untersuchungen berücksichtigt, stellt eine Vollabsperrrung des Wadis dar. Die Anlage S6 hätte dabei der Ableitung von Bewässerungswasser zur Südoase gedient. Schwierigkeiten ergeben sich dabei durch die offene Frage des Dammanschlusses am Nordufer und durch die ungeklärte Frage nach einer ausreichenden Hochwasserentlastung. Ein unter den jüngeren Nordoasensedimenten vermuteter Lavarücken könnte zu der Lösung beitragen, da dort ein Anschluß des Absperrrdammes möglich gewesen wäre. Im Bereich dieses natürlichen Felsmassivs sind sowohl eine Hochwasserentlastung (natürlich oder künstlich), die auf die seinerzeit noch niedrigen östlichen Flächen führte, als auch ein nördlich an die Hochwasserentlastung anschließendes Ableitungsbauwerk zur Bewässerung der frühen Nordoase vorstellbar.

Der Kenntnisstand über die Oasenbasis in dem in Frage kommenden Bereich ist jedoch nicht ausreichend, um die Wahrscheinlichkeit dieser von Herberg¹⁹⁷ favorisierten Variante bestimmen zu können. Wird die zum damaligen Zeitpunkt abweichende Waditopographie berücksichtigt, sind lediglich die beiden angeführten Rekonstruktionsvarianten vorstellbar. Ein vollständiger Absperrrdamm kann in

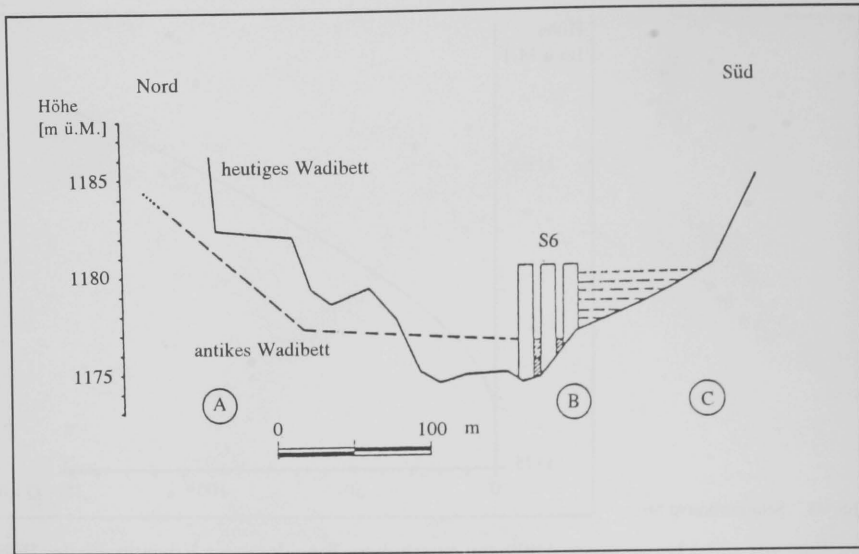


Abb. 44. Querprofil durch die Anlage S6.

Verbindung mit der Anlage S6 nicht ausgeschlossen werden, jedoch ist für eine sichere Zielerfüllung unbedingt eine Hochwasserentlastung notwendig. Dagegen stellt die Konzeption nach dem Bühnenprinzip zur Bewässerung der Südoase eine Lösung mit geringem Aufwand und ausreichender Sicherheit unter ausschließlicher Verwendung bekannter Baureste dar. Die sich aus der Schlüsselkurve (Abb. 43) ergebende Aussage, daß bereits bei geringer Wassertiefe im Wadi ein gut nutzbarer Abfluß auf die Bewässerungsflächen gelangte, ist als wichtiges Argument für eine Rekonstruktion nach dem Bühnenprinzip zu verstehen.

4.6.2 Bauanlage S5

Von dem jüngeren Teil der Anlage S6/5, dem Ableitungsbauwerk S5 („Bau B2“), sind eine gut erhaltene Überlaufschwelle, Reste der Pfeilerelemente sowie zahlreiche Felsabarbeitungen und Reihen von Pfahlquaden erhalten. Für die Pfeilerbauten, die den einzigen Durchlaß begrenzen, wurden z. T. natürliche Felsgruppen bearbeitet und in die Gesamtanlage integriert (s. Tafel 12 a). Die Schwelle besitzt eine Höhenniveau von 1180,57 m ü.M., die Durchlaßbreite beträgt 3,50 m. Die aus massiven, großformatigen Kalkquaden bestehende Sohlschwelle liegt auf mehreren Lagen Kalkquaden auf, wobei ein ehemaliges, tieferes Schwellenniveau ausgeschlossen werden kann¹⁹⁸. Die umfangreichen Abarbeitungen sind dem Anschluß und der Abstützung von Dammbauten zuzuordnen. Entsprechende Anzeichen sind sowohl südlich des Auslasses auf dem ansteigenden Felsuntergrund als auch vermehrt nördlich bis in den Bereich der älteren Anlage S6 zu finden, wo Teile dieses Vorgängerbau-

¹⁹⁸ ebd., 42f.

werks verändert und weitergenutzt wurden. Weitläufige Rinnen und Pfahlquaderreihen demonstrieren die einstige Größe des Staubauwerkes.

Auf den anstehenden Kalkfelsen südlich sind in unmittelbarer Nachbarschaft zu S5, und zwar in der Nähe des Hauptkanals, des vermuteten Dammanschlusses und des zugehörigen Steinbruchs (vgl. Plan Abb. 42), drei gleichartige Inschriften gefunden worden, die den Namen „byn“ darstellen. Dieses Wort deutet sonst auf die Nordoase hin, jedoch ist es nicht sicher, daß „byn“ tatsächlich homonym mit der Nordoase ist¹⁹⁹. Die Versorgung der Nordoase mit Bewässerungswasser durch das Bauwerk S5 muß aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen werden; z. B. weisen die Hauptkanalreste, die etwa 80 m östlich erhalten sind, eindeutig auf die zur Südoase führende Trasse hin. Die Vermutung, daß aufgrund einer zur damaligen Zeit nach Norden verschobenen Waditrasse Teile der heutigen Nordoase der Südoase zuzurechnen waren und als „Nordoase“ von dem Bauwerk S5 bewässert wurden, könnte den Sinn der Inschriften erklären.

Die Inschriften befinden sich in Höhen von 1181,00 m ü.M. (am Kanalbeginn), 1185,01 m ü.M. (am Steinbruch) und 1183,96 m ü.M. (am Dammanschluß). Herberg²⁰⁰ nimmt an, daß die letztgenannte Inschrift über der Krone des von hier zum Südpfeiler von S5 führenden Dammes lag. Unter der Berücksichtigung eines Freibordes ergibt sich daraus für die Anlage ein maximaler Betriebswasserspiegel, der bei etwa 1183,7 m ü.M. lag. Die Schlüsselkurve (Abb. 45) des Auslasses zeigt, daß die Anlage dann eine Leistungsfähigkeit von lediglich ca. 30 m³/s besessen hätte. Die Betrachtung der von

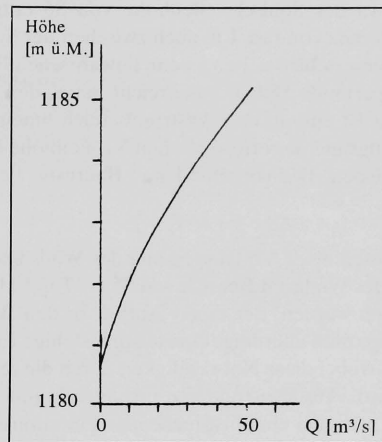


Abb. 45. Schlüsselkurve S5.

Herberg vorgenommenen Rekonstruktion dieses südlichen Staukörpers ergibt, daß dessen bergseitiger Anschluß auch einige Meter weiter östlich hätte liegen können, zumal dieser Staukörper nicht durch Felsarbeiten o.ä., sondern lediglich durch einige wenige Spolien belegt ist. Die erwähnte Inschrift hätte sich dann im Stauraum von S5 befunden, so daß man eine gelegentliche Überflutung dieser Inschrift während der Abflußspitzen hätte in Kauf nehmen müssen. Es bietet sich dabei an, daß durch die Inschrift am Steinbruch der maximale Wasserstand von ca. 1185,0 m ü.M. angezeigt wird. Die Beobachtung, daß der erwähnte, südliche Staukörper nicht durch Abarbeitungen auf den Felsabhängen belegt ist – was besonders bei einem höheren Bauwerk zu erwarten wäre – offenbart eine

überraschende konstruktive Ähnlichkeit von S5 mit der jüngeren Anlage S1 (s. Kap. 3.2). Auch bei S1 fehlen Überreste oder deutliche Hinweise auf einen abschließenden Staukörper zwischen dem Südpfeiler des Durchlasses „AS1“ und dem benachbarten Felsabhang. Allerdings können diese Umstände aus funktionellen Gründen nicht als Hinweise darauf verstanden werden, daß entsprechende Bauelemente bei S5 und S1 tatsächlich gefehlt hätten, dies würde besonders bei S5 zu einer erheblichen Vergrößerung des Durchlaßquerschnittes und damit der hydraulischen Leistungsfähigkeit geführt haben. Der entstehende Durchlaßteil wäre durch Reguliereinrichtungen nicht beherrschbar gewesen, was bei Bauwerken dieser Größenordnung völlig unvorstellbar ist. Also muß dieser Bereich mit Hilfe eines geschütteten Erddammes abgesperrt gewesen sein. Es ist möglich, daß durch die Zerstörung dieses Elementes im Hochwasserfall eine Vergrößerung des Abflußquerschnittes (= zusätzliche Hochwasserentlastung) einkalkuliert worden war.

Eine weitere Ähnlichkeit zwischen S5 und S1 zeigt sich in der Rekonstruktion von Herberg²⁰¹: die dort bei „Bau B2“ angenommene „Hochwasserentlastung zum Wadi“, d. h. die Aufteilung der entnommenen Wassermenge, besitzt eine Entsprechung in dem jüngeren Teilungsbauwerk AS5 am Südbau S1. Die Aufteilung des Bewässerungswassers direkt nach dem Tosbecken bzw. die Möglichkeit einer zusätzlichen, wenn auch leistungsschwachen Hochwasserentlastung würde demnach bereits ein älteres Funktionsprinzip der sabäischen Wasserbautechnologie darstellen.

Die Sohlschwelle im Durchlaß von S5 liegt mit einer Höhe von 1180,54 m ü.M. fast 4 m über der Schwelle von S6. Da für die Rekonstruktion eine abweichende Wadimorphologie mit einem Stromstrichniveau, welches etwa der Sohlschwellenhöhe von S6 entspricht, angenommen werden muß, ergibt sich die Höhendifferenz von fast 4 m auch zwischen der Sohlschwelle S5 und dem Stromtrich. Aufgrund dieses Höhenunterschiedes ist es sehr unwahrscheinlich, daß eine kurze, den Wadiquerschnitt nur teilweise absperrende Buhne ausgereicht hätte, den Wasserspiegel um den notwendigen Betrag zu erhöhen. Zwar ist eine in den Anströmbereich hineinreichende Schöpfungsbuhne vorstellbar, diese hätte sich jedoch aufgrund der erforderlichen Kronenhöhe bis in die Nähe der letzten Dammanlage S1/N1 erstrecken müssen. Die vorgefundenen Baureste, Felsarbeiten etc. sprechen ebenfalls gegen diese Lösung.

Bauanlage S5 als Bestandteil einer Vollabspernung des Wādī Dana

Durch eine Abspernung des Wadis im Bereich von S5 (s. Tafel 11) konnte der Wasserspiegel jederzeit um den Betrag angehoben werden, der einen Abfluß zu den Bewässerungsflächen ermöglichte. Im Rahmen der Gesamtanlage muß allerdings eine leistungsfähige Einrichtung zur Hochwasserentlastung vorhanden gewesen sein, wobei diese Notwendigkeit durch die relativ geringe Kapazität des Auslasses von S5 noch verstärkt wird. Aus konstruktiven Gründen konnte eine Hochwasserentlastung nicht in den Erddamm integriert sein. Da ein entsprechendes Funktionselement im Bereich der am Südende des Dammes gelegenen Anlage S5 nicht vorhanden war, muß die Hochwasserentlastung im Bereich des nördlichen Dammanschlusses bzw. am Nordufer des Wādī Dana gelegen haben (nördlich von (A) in Tafel 11).

Da sich die Krone des vermuteten Dammes von S5 etwa bei 1185 m ü.M. befand, muß die Frage nach dem nördlichen Dammanschluß offenbleiben. Die heute der Nordoase vorgelagerten Terrassen liegen bei 1178,5 m ü.M. und 1182,0 m ü.M. und waren ebenso wie die in Höhen bis 1195 m ü.M. reichenden Bewässerungssedimente der Nordoase zur Betriebszeit von S5 noch nicht vorhanden. Da unter den Sedimenten in dem betreffenden Bereich ein Lavariegel, der das nördliche Wadiufer bildete, vermutet wird, wäre so eine günstige Möglichkeit des Dammanschlusses gegeben.

Zur Ableitung von Hochwasserspitzen ist eine „natürliche Hochwasserentlastung“ denkbar, bei der aufgrund günstiger Höhenverhältnisse auf dem Scheitel des Lavarückens das Wasser direkt durch eine

201 vgl. Herberg, Baukomplex B, Abb. 18.

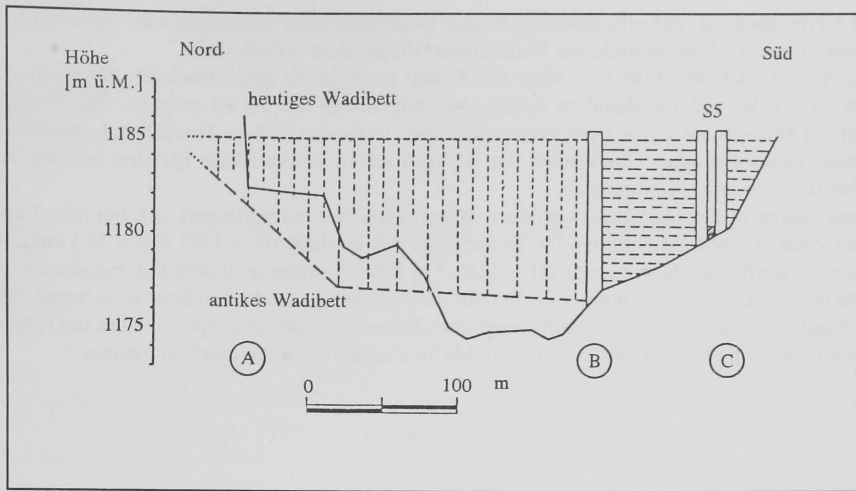


Abb. 46. Querprofil durch die Anlage S5.

natürliche Vertiefung, die evtl. anthropogen vergrößert worden war, in einen nordöstlich gelegenen, durch refraktionsseismische Untersuchungen nachgewiesenen Graben²⁰² abgeleitet wurde.

Im Gegensatz zu der dargelegten Konzeption bevorzugt Herberg²⁰³ eine Rekonstruktionsvariante, die innerhalb der Anlage S5 auch eine Ableitung von Bewässerungswasser zu der Nordoase vorsieht. Auf dem Lavarücken, der den sich durch die Wadiabsperzung ergebenden Stauraum begrenzt, wäre neben der östlich in der Nähe des Dammanschlusses befindlichen Hochwasserentlastung ein weiteres befestigtes Entnahmebauwerk angeordnet gewesen, mit dessen Hilfe Wasser zu den östlich und nordöstlich gelegenen Bewässerungsflächen der damaligen Nordoase geleitet wurde. Zwar basiert diese Rekonstruktionsvariante in weiten Teilen auf heute nicht nachweisbaren Annahmen, sie beinhaltet aber eine schlüssige Erklärung für den relativ großen baulichen Aufwand, den eine Vollabsperzung des Wadis für lediglich einen Betriebsauslaß darstellt.

Alternativ ist auch eine Lösung vorstellbar, die den gleichzeitigen Betrieb der Anlagen S5 und N4 einschließt. Im Bereich von S5 sind dazu eine Talabsperzung und die Hochwasserentlastung auf der Lavazunge notwendig.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Bauwerk S5 in Verbindung mit einer Vollabsperzung des Wadis eine sinnvolle Funktionserfüllung gewährleistet. Aufgrund der heute anzutreffenden Topographie (Bewässerungssedimente der Nordoase) kann die Frage der Hochwasserentlastung und eines möglichen Auslasses zur Nordoase nicht abschließend geklärt werden.

Zu der Rekonstruktion von Herberg soll in diesem Zusammenhang eine Ergänzung bzgl. des zur Süd-oase führenden Hauptkanals dargelegt werden. Eine südliche, bergseitige Kanalwange ist durch Abarbeitungen an keiner Stelle nachgewiesen. Aufgrund der vergleichbaren Situation am Südbau S1 drängt

202 vgl. W. Wagner, Bodenkundliche und sedimentologische Untersuchungen an den anthropogenen Oasenablagerungen der Sabäerhauptstadt Märib (1989).

203 vgl. Herberg, Baukomplex B, 53 ff.

sich die Vermutung auf, daß eine derartige Wange tatsächlich nicht vorhanden war; diese war bei dem ansteigenden natürlichen Gelände zur Funktionserfüllung nicht erforderlich.

Zu beachten ist auch die in direkter Nähe des Kanals zu findende dritte Inschrift, die in einer Höhe von 1181,0 m ü.M. auf anstehendem Kalkgestein angebracht ist. Es ist möglich, daß durch diese Inschrift ein Hinweis auf einen Betriebswasserspiegel, in diesem Fall im Hauptkanal, gegeben wird. Nach einer chronologischen Einordnung der Inschrift wären Rückschlüsse für eine zeitliche Zuordnung von Betriebsvorgängen möglich.

Das noch innerhalb des Durchlasses größere Wasserspiegelniveau verringert sich bei dem Passieren des Tosbeckens in gewissem Umfang. Die in der Nähe der Inschrift ($H = 1181,0$ m ü.M.) aufgefundenen Teile der nördlichen Kanalwange ($H = 1180,7$ m ü.M.) würden in diesem Fall bereits die oberen Bereiche des Baukörpers markieren, der ehemals durchflossene Kanalquerschnitt wäre heute vollständig mit Sand verweht. Bei dem alternativ möglichen höheren Kanalwasserspiegel kann die Höhenlage der Inschrift nicht mehr als Hinweis auf betriebliche Zusammenhänge gesehen werden.

5. Bauanlage „al-Mabnā“ im Wādī Ġufaina

Die bereits 1888 von Glaser beschriebene Stau- und Ableitungsanlage „al-Mabnā“²⁰⁴ liegt etwa 2,7 km nordöstlich des Nordbaus N1 in dem parallel zum Wādī Dana verlaufenden Wādī Ġufaina/Sā'ila²⁰⁵ (s. Abb. 2). Der Standort eignet sich vorzüglich für derartige Bauanlagen, da sich hier trotz fortgeschrittener Wassererosion an den Oasensedimenten noch heute die engste Stelle im Wadiverlauf zwischen den Bewässerungssedimenten der Nordoase und dem Lavaplateau „Ġibāl Diš al-Aswad“ befindet.

Der von Glaser²⁰⁶ als „Mabnā al-Hašrağ (Bau des Röchelns)“ bezeichneten Anlage wurde bisher kaum die aufgrund ihrer Bedeutung notwendige Beachtung geschenkt. Es hat sich bei den Untersuchungen nämlich herausgestellt, daß „al-Mabnā“ nicht ein zu vernachlässigendes, randlich gelegenes Bauwerk ist, sondern einen Bestandteil des Funktionssystems der letzten Betriebsperiode darstellt, der den im Wādī Dana gelegenen Bauten ebenbürtig ist. Es fällt auf, daß der Zweck der Wadiabspernung nicht mit einem Erddamm verwirklicht wurde, sondern durch eine geschickte Kombination mehrerer Mauern. Offensichtlich wurde dabei die gleichzeitig im römischen Kaiserreich hochentwickelte Technik der Sperrmauern mit dem ebenfalls neuen Baustoff Mörtel verbunden.

Während der Feldarbeiten wurde die Anlage im Wādī Ġufaina einschließlich der zugehörigen Hauptkanäle und eines Teil-Bewässerungsnetzes nach Gesichtspunkten der Hydraulik und der Bewässerungstechnik eingehend untersucht; eine bauhistorische Bearbeitung steht noch aus.

5.1 ERHALTENE ÜBERRESTE VON „AL-MABNĀ“

Die funktionelle Bedeutung der Elemente der Bauanlage ist nicht immer eindeutig erkennbar, da Erosion und Zerfall z. T. erhebliche Beschädigungen bewirkt haben. Zusätzlich erschweren noch während der antiken Betriebszeit vorgenommene Umbauten und Veränderungen die Deutung des Funktionssystems. Zu Beginn soll eine kurze Beschreibung der vorhandenen Bauten stehen (vgl. für die folgenden Ausführungen Tafeln 12–15 a).

204 Schoch bezeichnet die Anlage als „As Sudd Hafinah“ und gibt die Konzeption in zutreffender Weise an. Vgl. Schoch, *Geographica Helvetica* 1978, 122. Auch Wade (PSAS 9, 1979, Tafeln 8–10) und Dayton (PSAS 9, 1979) behandeln die Anlage kurz. Dayton vermutet allerdings einen zusätzlichen Erddamm.

205 Der Unterlauf des Wādī Ġufaina wird heute als Wādī Sā'ila bezeichnet, die Grenze der Namen liegt etwa bei der Anlage „al-Mabnā“.

206 vgl. Glaser, *Reise*, 49 ff.

5.1.1 Becken I mit Auslaß (A1)

Das im Wādī Ġufaina herangeführte Wasser trat zuerst in den beckenartigen Bereich I ein, welcher durch die Mauern (A) und (B) mit dem in der östlichen Ecke eingeschlossenen, sehr gut erhaltenen Auslaß (A1) gebildet wird. Das Wasser wurde durch den Auslaß in einen zu den Bewässerungsflächen führenden Hauptkanal oder, bei entsprechend hohem Wasserstand, über die Mauer (B) in das benachbarte Becken geleitet. Dieser durch den Auslaß (A1) versorgte Hauptkanal genoß offensichtlich eine bevorzugte Stellung im Funktionsablauf.

Die Mauer (A) ist in der bekannten schichtweisen Bautechnik (Schüttmauer mit Verputz) aus Basaltgeröll und Kalkverputz ausgeführt, wobei die Anzahl der erkennbaren Schichten variiert (4–5 Schichten), teilweise auch keine Schichten erkennbar sind. Die eine ehemalige Gesamtlänge von 190 m aufweisende Mauer ist im Westteil auf einer Länge von 45 m völlig zerstört, da dort die heutige Flußrinne des Wādī Ġufaina verläuft. Der am westlichen Ende, direkt an den Sedimenten der Nordoase erhaltene Mauerrest (A') bezeugt eine während des Betriebes durchgeführte Verlängerung der Mauer (A). Die Mauer diente in der Hauptsache dem Schutz der bereits zum Bauzeitpunkt vorhandenen Nordoasensedimente und besaß deshalb einen relativ schmalen Querschnitt. Uferabbrüche im damaligen Stauraum (Becken I) bedingten eine Verlängerung der Mauer während der antiken Betriebszeit.

Die Mauer (B) schließt den Bereich (I) nach Norden hin ab. Durch den gekrümmten Verlauf sind die Besonderheiten der natürlichen Topographie ausgenutzt, die Bauwerkshöhe wird aufgrund des Geländeanstiegs stetig geringer (s. Abb. 47). Die Mauer ist an ihrem östlichen Ende auf eine Länge von 12 m völlig zerstört, jedoch kann die Anbindung dieser Mauer an den nördlichen Pfeiler des Auslasses (A1) als sicher gelten. Mit Werten zwischen 1184 m ü.M. und 1186 m ü.M. für die Oberkante erweist sich die etwa 210 m lange Mauer (B) als niedrigste der gesamten Anlage. Die Mauer diente als Überlauf aus dem beckenartigen Bereich (I) heraus, um das Wasser nicht nur in den Auslaß (A1), sondern auch in das benachbarte Becken (II) zu leiten. Die teilweise in ihrem Originalzustand erhaltenen Abtreppungen der Oberkante deuten eine Gliederung des Überfallquerschnittes an.

5.1.2 Becken (II) mit den Auslässen (A2) und (A3)

Die oben beschriebene Mauer (B) bildet mit der etwa parallel verlaufenden Mauer (C) das Becken II, an dessen östlichem Ende der Auslaß (A2) erkennbar ist.

Dieser Auslaß (A2) entspricht in Aufbau und Ausführung dem Auslaß (A1); die Entstehung muß wohl in dieselbe Zeit gelegt werden. Auch die Details bzgl. der Steuerbarkeit des Bauteils entsprechen sich. Die Auslaßbreite beträgt 2,45 m, die Höhe der nicht mehr vorhandenen Sohlschwelle kann aufgrund von Hinweisen an den Pfeilern mit 1180,70 m ü.M. angenommen werden. Im Gegensatz zu dem relativ gut erhaltenen nördlichen Pfeiler ist der südliche ab einer Bauhöhe von etwa 2 m zerstört. Unter Berücksichtigung der größten Höhe von 1187,50 m ü.M. kann die maximale Leistungsfähigkeit mit etwa 60 m³/s angegeben werden, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die Mauer (C) bereits frühzeitig überströmt wurde, da ihre niedrigste Stelle heute bei 1186,30 m ü.M. zu finden ist (s. Abb. 47).

In dem den eigentlichen Abschluß des Beckens (II) bildenden Abschnitt zwischen den Auslässen (A1) und (A2) sind keine Bauwerke, auch nicht in Resten, vorhanden. Lediglich im direkten Anschluß an den nördlichen Pfeiler von (A1) sind einige Kalkquader auf der Höhe von 1180,40 m ü.M. in den Basaltuntergrund eingepaßt (s. Tafeln 14 b, 14 c) Diese Steine wurden von Brunner²⁰⁷ als Sohl-

207 vgl. Brunner, Erforschung, 80.

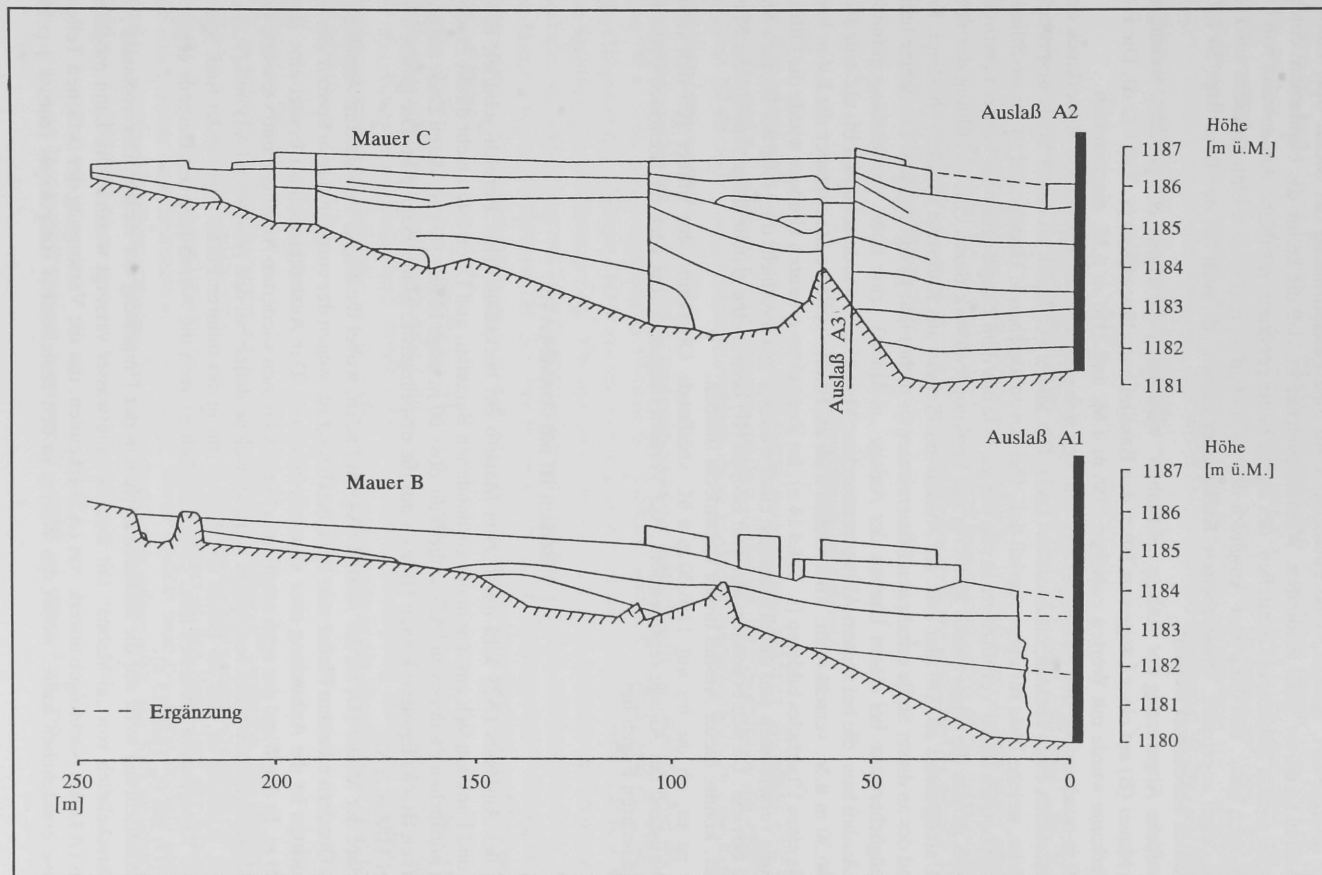


Abb. 47. Ansichten der Mauern (B) und (C) der Anlage „al-Mabnā“.

schwelle interpretiert, obwohl keine Fließspuren auf eine Überströmung der Steine und damit auf einen Auslaß an dieser Stelle hindeuten. Wahrscheinlicher ist, daß die Steine das Fundament eines zu rekonstruierenden Baukörpers darstellen, der an die heute zerstörte, nördliche Außenwand von (A1) angeschlossen hätte. Ein derartiger Ausgleich des nicht ebenen, natürlichen Untergrundes aus Lavamaterial durch angepaßte, ausgearbeitete Kalkquader kann z. B. auch bei der Bauanlage S4 („Bau A“) deutlich beobachtet werden.

Die nördliche Abgrenzung der Anlage „al-Mabnā“ wird durch die Mauer (C) gebildet, welche sich ähnlich Mauer (B) auf einer Länge von 240 m den Basaltabhang hinaufzieht (s. Tafel 12 d). Die Höhe der Oberkante wurde mit Werten zwischen 1186 m ü.M. und 1187 m ü.M. eingemessen.

Etwa 60 m nordwestlich des Auslasses (A2) befinden sich neben einem markanten Mauerknick deutliche Anzeichen eines ehemaligen Auslasses (A3). Die Mauer (C) besaß an dieser Stelle ursprünglich eine Lücke, welche Platz für einen Auslaß ließ. Der davon abgehende Hauptkanal ist im anschließenden Basaltbereich durch Verputzreste in situ belegt. Wie aus dem Längsschnitt der Mauer hervorgeht, bietet sich gerade die ausgewählte Stelle für ein Funktionsbauwerk durch eine Erhöhung des natürlichen Untergrundes an. Ob hier evtl. ein Auslaß mit Pfeilern aus Kalkstein (Spolien) bestand, kann aufgrund des an dieser Stelle erhaltenen Mauerelementes nicht mehr gesagt werden. Die Steine hätten dann möglicherweise bei einem Umbau der Anlage „al-Mabnā“ eine neue Verwendung gefunden. Dieser Auslaß bzw. die bei seinem Abbau entstandene Mauerlücke wurde sekundär bis auf eine Höhe von 1186,30 m ü.M. verschlossen, wo ausschließlich als Binder verlegte Steinquader die 8,4 m breite Schwelle eines Überfalles bildeten (s. Tafel 14 a). Im Zuge eines erneuten Umbaus wurde die Öffnung vollständig verschlossen und durch Einfügen einer weiteren Mauerschicht die Höhe der übrigen Mauerkrone erreicht. Da sich besonders aus dem Becken (II) heraus eine gleichmäßige Ansicht der Mauer darbietet, konnte dieser Auslaß bisher unentdeckt bleiben.

Unklar ist es, ob die bis auf 1186,30 m ü.M. abfallende Oberkante der Mauer (C) den letzten Betriebszustand der Anlage repräsentiert. Auf Veränderungen deuten auch die mehrfach vorhandenen senkrechten Fugen hin.

5.1.3 Becken III mit Auslaß (A4)

Östlich des Auslasses (A2) wird durch zwei Mauern ein beckenähnlicher Bereich gebildet, dessen Zweck und Funktion sich aus den heute vorhandenen Bauteilen und Überresten nicht direkt ergeben. An den nördlichen Pfeilern von (A2) schließt die etwa 60 m lange Mauer (D) an, deren Ende aufgrund der starken Beschädigungen keinen Hinweis auf die ursprüngliche Mauerlänge gibt. Die größte Höhe liegt bei 1188 m ü.M..

Im Verlauf der Mauer (D) ist der Auslaß (A4) zu finden, wobei die Mauer im direkten Anschluß an den aus Quadern erbauten Pfeiler sehr stark beschädigt ist; wegen der vorgefundenen Spuren von Verputzschichten ist die Anbindung aber dennoch eindeutig. Der Auslaßquerschnitt besitzt eine Breite von 1,80 m. In der Wand des noch erhaltenen Pfeilers können wiederum Nutungen und versetzte Quader zu Regulierungszwecken festgestellt werden, welche denen bei den Auslässen (A1) und (A2) entsprechen. Auffällig ist, daß die Ecken des Pfeilers nur in der unteren Partie abgerundet sind, was auf mögliche Reparaturen schließen läßt. Ungewöhnlich ist auch die Abrundung des Bauteils gegen die Mauer (D) hin (s. Tafel 15 a).

Die Auslaßrichtung weist auf die Sedimentflächen in der Umgebung der Anlage Dār as-Saudā', welche wahrscheinlich von „al-Mabnā“ mit Bewässerungswasser versorgt wurde. Man kann möglicherweise in (A4) das Nachfolgebauwerk von (A3) erkennen, das die Versorgung der östlichen Teile der Nordoase ermöglichen sollte, wobei das Wasser in den bestehenden Hauptkanal (zurück-) geleitet wurde.

Der Mauer (D) gegenüber befindet sich die etwa 30 m lange Mauer (E), deren Oberkante bei 1187 m ü.M. liegt. Diese Mauer (E) schließt direkt an den nördlichen Pfeiler von (A1) an und ist in ihrem antiken Zustand vollständig erhalten. Sollte zwischen (A1) und (A2) tatsächlich ein weiterer Auslaß bestanden haben, so hätte die Mauer (E) die Aufgabe der Trennung zwischen zwei Hauptkanälen besessen. Diese bauliche und funktionelle Situation wäre vergleichbar mit Teilbereichen der Hauptverteileranlage auf der Nordoase. An dem in gutem Zustand erhaltenen Verputz der Mauer sind Hinweise auf Anbauten o.ä. nicht aufzufinden.

5.2 HYDRAULISCH-FUNKTIONELLER ÜBERBLICK ÜBER DIE ANLAGE „AL-MABNĀ“

Die Funktionsabläufe und die damit zusammenhängenden hydraulischen Bedingungen sind bei der Anlage „al-Mabnā“ trotz der umfangreichen erhaltenen Bauelemente nicht direkt rekonstruierbar, da – wie beschrieben – z. T. an den entscheidenden Stellen umfangreiche Beschädigungen vorliegen, die mehrere Lösungsvorschläge zulassen.

5.2.1 Rekonstruktionsmöglichkeiten

Aus der Literatur²⁰⁸ sind bereits zwei Rekonstruktionsvarianten bekannt, allerdings sind plausible Lösungen auch mit weiteren Konstellationen möglich. Aufgrund der Erkenntnisse aus anderen Fachgebieten (Hydrologie, Sedimentologie) müssen dabei konkrete Anforderungen an eine Komplettierung der Anlage gestellt werden.

Die Anlage „al-Mabnā“ diente der Versorgung mehrerer Hauptkanäle mit Wasser. Auf der heute in etwa 500 m Entfernung beginnenden Terrasse der Nordoase sind in den Sedimenten die Überreste von drei Hauptkanälen erhalten. Dabei ist eine Abzweigung vom mittleren der Kanäle zu finden, welche in die Richtung des nördlichsten zeigt. Für eine Betrachtung des letzten, teilweise erhaltenen Zustandes muß also die Versorgung von zwei Hauptkanälen berücksichtigt werden, während der dritte, nördlichste einem älteren Betriebszustand der Anlage zuzurechnen ist. Umfangreiche Veränderungen und Umbauten, z. B. deutlich erkennbar bei Auslaß (A3), erschweren eine Deutung und Rekonstruktion von „al-Mabnā“.

Für die Abführung der z. T. erheblichen Hochwasserspitzen, welche über die Hochwasserentlastung am Nordbau (N1) und in sehr geringem Umfang aus dem Wādī Ġufaina herantransportiert wurden, ist für die Anlage eine ausreichend dimensionierte Hochwasserentlastung integriert worden, falls das Hochwasserdargebot nicht über die Betriebsauslässe vollständig in die Hauptkanäle eingeleitet werden konnte.

Version 1 (Glaser)

Eine detaillierte Beschreibung der Anlage ist in dem Werk Glasers²⁰⁹ zu finden. Bei seinem Lösungsvorschlag (s. Abb. 48) schließt Glaser allerdings an dem beschädigten, östlichen Ende der Mauer (B) anstelle des als sicher anzusehenden Anschlusses dieser Mauer an den Baukörper des Auslasses (A1) auf einen freien Zwischenraum an dieser Stelle. Diese Ansicht muß vor allem deshalb angezweifelt werden, da die Auslaßeinrichtungen im Rahmen der Bauanlage stets aus Kalkspolienmauerwerk errichtet worden sind.

208 vgl. Glaser, Reise, 49 ff.; Brunner, Erforschung, 78 ff.

209 vgl. Glaser, Reise, 49 ff. .

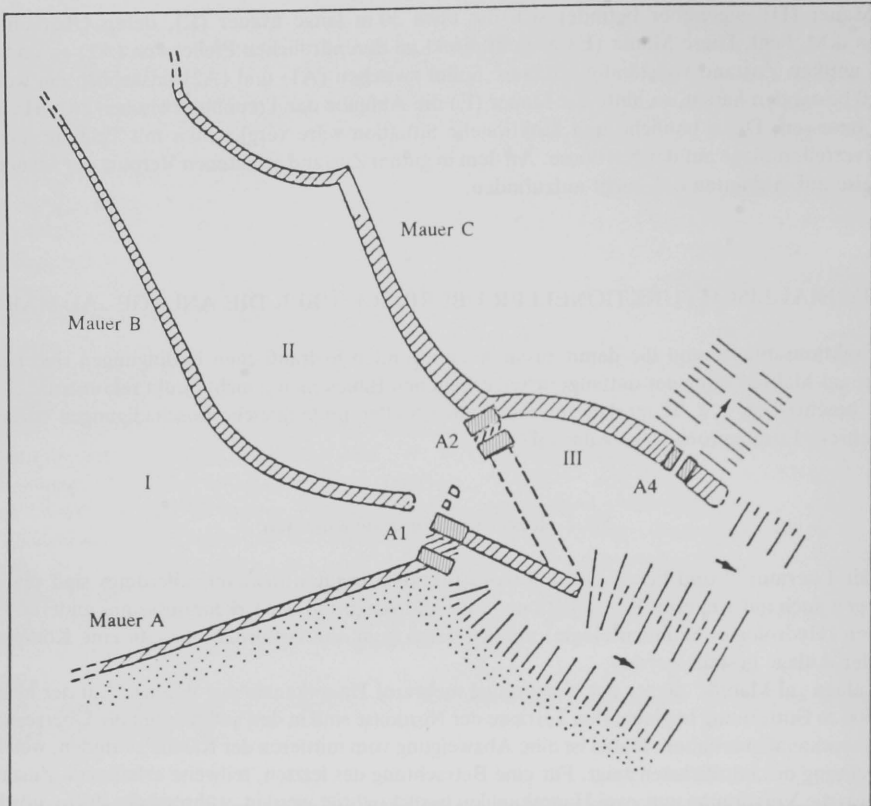


Abb. 48. Rekonstruktion der Anlage „al-Mabnā“ – Version 1 (Glaser).

Glaser vermutet wegen der Ausrichtung der Elemente des Auslasses (A2) eine ehemalige Verbindung dieses Auslasses mit dem östlichen Ende der Mauer (E). Da seinerzeit nur von Aufstau und Verteilung des Wassers aus dem Wādī Ġufaina ausgegangen wurde, ist dieser Schluß mit einem freien Ende der Mauer (B) verständlich. Die Größe des regulär und besonders bei Spitzenereignissen über die Abschlußmauer (Hochwasserentlastung) am Nordbau (N1) tretenden Abflusses aus dem Wādī Dana war völlig unbekannt. Mit der heutigen Kenntnis der bei „al-Mabnā“ auftretenden Abflußspitzen ist diese Version kaum vorstellbar. Ungeklärt bleibt bei Glaser auch die gegenseitige Zuordnung und Funktion der Auslässe (A2) und (A4).

Version 2 (Brunner)

Die von Brunner²¹⁰ vorgelegte Rekonstruktion (s. Abb. 49) unterscheidet sich erheblich von der Version Glasers. Auffällig ist die Verbindung der Auslässe (A2) und (A4) durch die Einrichtung eines

210 vgl. Brunner, Erforschung, 78ff.

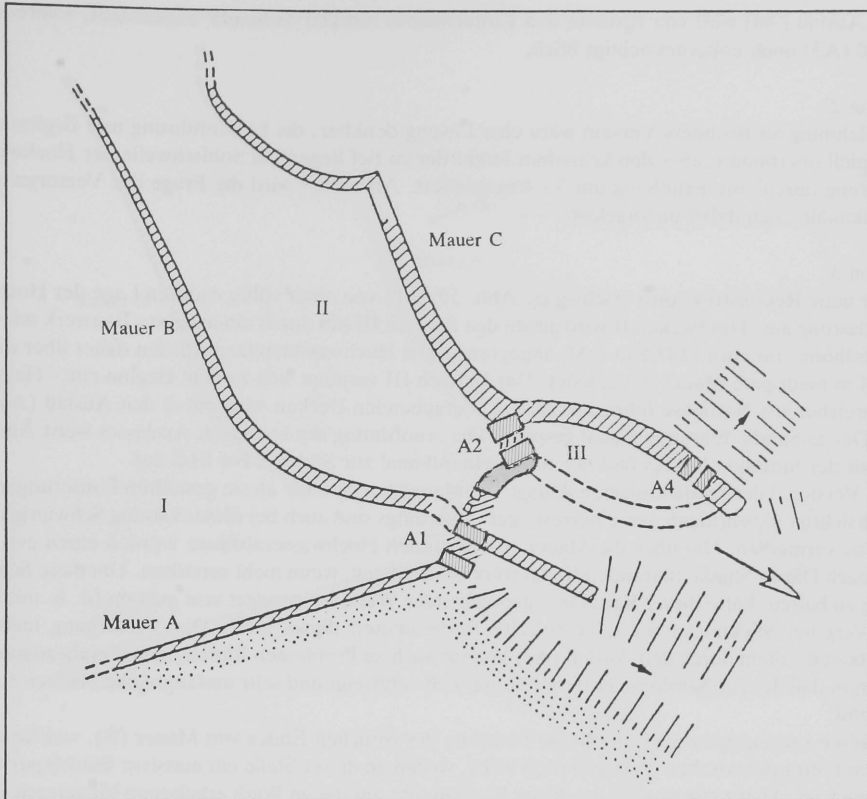


Abb. 49. Rekonstruktion der Anlage „al-Mabnā“ – Version 2 (Brunner).

Kanals/Beckens. Dabei wird ein Rücken aus anstehendem Basalt, der zwar ungefähr diese Lage hat, allerdings genau auf den westlichen Pfeiler von (A4) zuläuft, wohl als Fundament der notwendigen, südlichen Mauer interpretiert, welche dann allerdings an den östlichen Pfeiler angeschlossen haben muß. Zwischen (A1) und (A2) sieht Brunner die Hochwasserentlastung der Anlage, wobei die Kalkspolien als Durchlaßsohle einbezogen werden. Während eine Breite des vermuteten Hochwasserdurchlasses nicht angegeben wird, also lediglich als Maximalwert von 17 m (= Abstand (A1) – (A2)) feststeht, kann die Höhe der Sohle mit 1180,39 m ü.M. eindeutig beschrieben werden. Eine derartige Hochwasserentlastung im Gesamtkomplex der Anlage „al-Mabnā“ würde zu wenig plausiblen Betriebsabläufen führen, da bereits zu einem relativ frühen Zeitpunkt Wasser abgeleitet und so ein möglichst effektiver Betrieb der Bewässerungsauslässe verhindert würde. Gerade die Tatsache, daß die zusätzliche Sohlschwelle um etwa 0,3 m unter der des Auslasses (A2) liegt, würde in Verbindung mit einer großen Breite dazu führen, daß nur ein geringer Teil des in das Becken II einströmenden Wassers durch (A2) einer Nutzung zugeführt werden könnte.

Ungeklärt bleibt bei dem Vorschlag die Versorgung der von ihm erwähnten zwei während der letzten Betriebsperiode in Betrieb befindlichen Hauptkanäle des Ġufaina-Systems aus einem Auslaß, nämlich

(A1). Auslaß (A4) wird von Brunner den Kulturflächen um Dār as-Saudā³ zugeordnet, während der Auslaß (A3) noch unberücksichtigt blieb.

Version 2'

In Anlehnung an Brunners Version wäre eine Lösung denkbar, die Linienführung und Ergänzungen prinzipiell übernimmt, aber den kritischen Punkt der zu tief liegenden Sohlschwelle der Hochwasserentlastung durch eine Erhöhung um 3 - 4 m mindert. Allerdings wird die Frage der Versorgung der Hauptkanäle auch dabei nicht gelöst.

Version 3

Dieser neue Rekonstruktionsvorschlag (s. Abb. 50) geht von einer völlig anderen Lage der Hochwasserentlastung aus. Das Becken II wird gegen den Bereich III hin durch ein massives Bauwerk mit einer Mindesthöhe von etwa 1187,5 m ü.M. abgegrenzt. Die Hochwasserspitzen würden daher über die um ca. 1,4 m niedrigere Mauer (C) geleitet. Der Bereich III verjüngt sich zu dem Beginn eines Hauptkanals, welcher zur Nordoase führt; aus dem sich ergebenden Becken wird durch den Auslaß (A4) der nach Dār as-Saudā³ führende Kanal gespeist. Die Anordnung des seitlichen Auslasses weist Ähnlichkeit mit der Situation bei N5 und bei einem Hauptkanal zur Südoase bei S1/2 auf.

Diese Version 3 der rekonstruierten Anlage „al-Mabnā“ erfüllt alle an sie gestellten Forderungen und berücksichtigt die vorhandenen Überreste gut. Allerdings sind auch bei dieser Lösung Schwierigkeiten nicht zu vermeiden. Die über die Mauer (C) tretenden Hochwasserabflüsse würden einen evtl. von (A4) nach Dār as-Saudā³ führenden Kanal stark beschädigen, wenn nicht zerstören. Um diese Schäden gering zu halten, hätte dieser Kanal in entsprechender Weise konstruiert sein müssen (d. h. mit Mauern, Verputz, Stickungen o.ä.), vereinzelt Reste deuten dieses an²¹¹. Die Versorgung mehrerer Hauptkanäle allein durch den Auslaß (A2) könnte auch zu Problemen führen, zumal einbezogen werden muß, daß der zur Nordoase führende Kanal sich verzweigt und sehr umfangreiche Flächen versorgen muß.

Für diesen Lösungsvorschlag spricht die Richtung des östlichen Endes von Mauer (B), welche genau auf den Freiraum zwischen (A1) und (A2) weist, so daß an dieser Stelle ein massiver Baukörper wahrscheinlich ist. Außerdem werden bei dieser Version sehr gut die im Wadi erhaltenen Mauerreste durch die beginnenden Hauptkanäle aufgegriffen, wohingegen bei den anderen Versionen der nördlichste der Mauerreste nur schwer mit den Abflüssen der Hochwasserentlastung in Einklang zu bringen ist. Weitere Lösungsvorschläge für die Rekonstruktion von „al-Mabnā“ weisen grundsätzlich sehr starke Mängel in der Erfüllung notwendiger Funktionsanforderungen auf.

5.2.2 Analyse des Wasserdargebots und der Versagenswahrscheinlichkeit der Anlage „al-Mabnā“

Die Bauanlage „al-Mabnā“ diente dazu, das Dargebot aus dem Wādī Ġufaina und vor allem das über die Hochwasserentlastung am Nordbau getretene Wasser anzustauen und in die zu den Bewässerungsflächen führenden Kanäle zu verteilen. Die Abflußspitze im Wādī Ġufaina beträgt für ein mittleres Ereignis etwa 40 m³/s, die Jahressumme etwa 2,5 × 10⁶ m³/a. Von einer Kalkulation der möglichen Spitzenereignisse ist abgesehen worden.

Die über die Hochwasserentlastung am Nordbau abgegebene Dargebotsspitze beträgt in mittleren Jahren etwa 65 m³/s. Das absolute Maximum ergibt sich aus der Schlüsselkurve der Schwergewichts-

211 Eine gute Vorstellung von der Ausführung dieses Kanals vermittelt der erhaltene antike Kanal im Wādī Doḡān (bei Sanaa), der z. T. aus verputztem

Mauerwerk besteht. Vgl. H. Siewert, Antike Bewässerungsbauten der yemenitischen Landwirtschaft, Taf. 71c. ABADY I (1982).

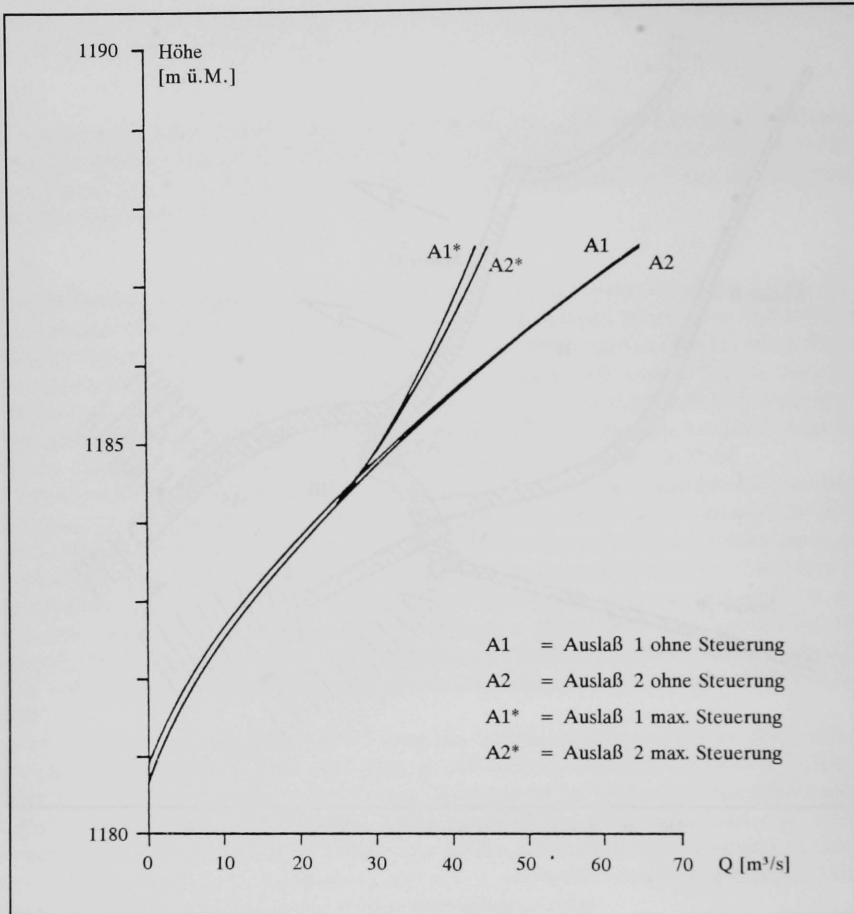


Abb. 51. Schlüsselkurven der Auslässe (A1) und (A2) – Anlage „al-Mabnā“.

bei Kenntnis der gesamten Funktionsabläufe und der Bedeutung der Hochwasserentlastung am Nordbau sicher eine günstigere Lösung entworfen.

Version 2

Auch durch die Version 2 kann die angestrebte Hochwassersicherheit nicht gewährleistet werden. Die Hochwasserentlastung zwischen den Auslässen (A1) und (A2) ist gemeinsam mit diesen Auslässen nicht in der Lage, die Spitze von über 480 m³/s abzuführen. Bei einem Wasserstand von 1186,30 m ü.M. würde die Mauer (C) überflutet, so daß ein nach Dār as-Saudā³ führender Kanal zerstört würde. Diese Überflutung der Mauer (C) bleibt bei der Funktionsbeschreibung Brunnens unerwähnt. Bei diesem Lösungsvorschlag ist zusätzlich zu beachten, daß die Kapazität des Auslasses (A2) durch die Überleitung in den schmäleren Auslaß (A4) eingeschränkt wird.

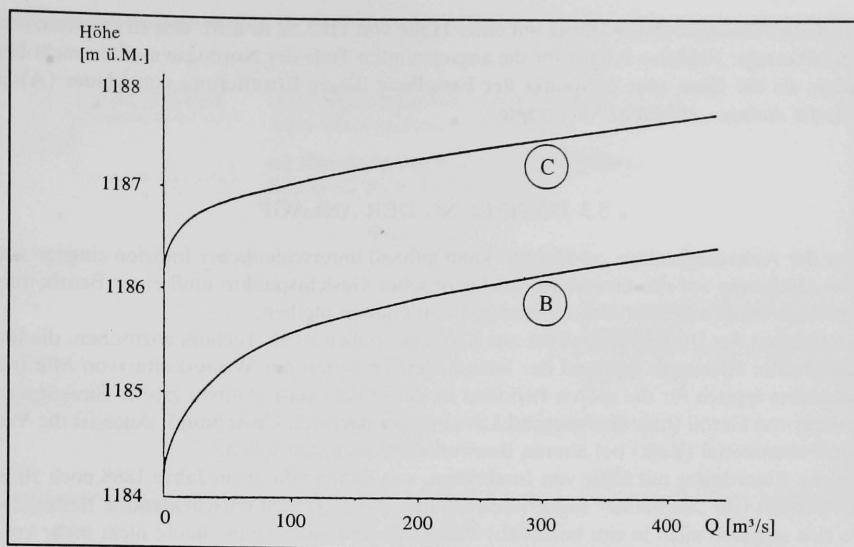


Abb. 52. Schlüsselkurven der Mauern (B) und (C) – Anlage „al-Mabnä“.

Version 2'

Die Erhöhung der Hochwasserentlastungsschwelle hat bzgl. der Behandlung der Spitzenabflüsse eher negative Folgen, da diese zur Funktionsverbesserung von (A2) vorgenommene Maßnahme den weit-aus größten Hochwasseranteil über die Mauer (C) strömen läßt. Bereits bei Zuflüssen von etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ würde die Mauer (C) überflutet, was eine entscheidende Reduzierung der Hochwassersicherheit darstellen würde.

Version 3

Die Betriebsabläufe in dieser Bauwerksgruppierung entsprechen anfangs denen der Version 2. Der Auslaß (A1) genießt die Priorität, ab einem Zufluß von $24 \text{ m}^3/\text{s}$ wird die Mauer (B) überströmt. Der Wasserstand in der Anlage erreicht den tiefsten Punkt der Mauer (C) bei einem Zufluß von $90 \text{ m}^3/\text{s}$. Zu diesem Einschaltzeitpunkt der Hochwasserentlastung werden durch die Auslässe (A1) und (A2) jeweils etwa $45 \text{ m}^3/\text{s}$ in die beiden Hauptkanäle eingeleitet. Der in mittleren Jahren zu erwartende Abfluß von etwa $65 \text{ m}^3/\text{s}$ kann problemlos durch die beiden Auslässe verteilt werden. Die ab einem Zufluß von $90 \text{ m}^3/\text{s}$ über die Mauer (C) tretenden Hochwasserabflüsse lassen die angesprochenen Beschädigungen des nach Dār as-Saudā³ führenden Hauptkanals erwarten. Diese Schäden wären bei einer Lösung vermieden worden, bei der die Bewässerungsflächen um Dār as-Saudā³ durch einen Kanal versorgt werden, der am Rand der nördlich gelegenen Basalthänge verläuft und dort z. T. künstlich aus dem anstehenden Gestein herausgebrochen worden ist. Das Wasser aus Auslaß (A4) wäre in den nördlichsten der nach Märib führenden Kanäle eingeleitet worden.

Auf eine Besonderheit der Abläufe bei extremen Spitzenereignissen soll hingewiesen werden. Bei dem Zufluß von $295 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht der Wasserspiegel die Oberkante der Mauer (A) ($1187,20 \text{ m ü.M.}$), diese Mauer wird bei dem vorausgesetzten Spitzenabfluß von mehr als $480 \text{ m}^3/\text{s}$ teilweise um etwa $0,3 \text{ m}$ überflutet. Diese Überflutung ist am westlichsten, ergänzten Teil der Mauer (A) zu erwarten, da der

ältere, östliche Abschnitt dieser Mauer mit einer Höhe von 1187,52 m ü.M. den zu erwartenden Wasserspiegel überragt. Negative Folgen für die angrenzenden Teile der Nordoase mußten nicht befürchtet werden, da die Oase zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Erweiterung von Mauer (A) bereits erheblich die Anlage „al-Mabnā“ überragte.

5.3 DATIERUNG DER ANLAGE

Das Alter der Ableitungsanlage „al-Mabnā“ kann anhand unterschiedlicher Indizien eingegrenzt werden. Eine Datierung auf der Grundlage bauhistorischer Gesichtspunkte muß einer Bearbeitung auf der Grundlage entsprechender Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die Konstruktion der Durchlaßbauwerke aus Kalksteinspolien ist als Technik anzusehen, die für stärker beanspruchte Elemente während der letzten Betriebszeiten der Wasserkultur von Mārib üblich war. Besonders typisch für die späten Perioden ist der schichtweise Aufbau großer Baukörper unter Verwendung von Geröll (hier überwiegend Lava aus der nächsten Umgebung). Auch ist die Verwendung von Putzmaterial (Kalk) bei älteren Bauwerken nicht festzustellen.

Die zeitliche Einordnung mit Hilfe von Inschriften, von denen Glaser im Jahre 1888 noch 10 Exemplare im Bereich von „al-Mabnā“ registrieren konnte, dürfte keinen entscheidenden Beitrag liefern, da diese sich sämtlich nicht in situ befanden; außerdem sind diese Steine heute nicht mehr vorzufinden.

Zur Datierung bietet sich vor allem die Auswertung von Sedimentresten an, die an mehreren Stellen am Nordrand des Wādī Ġufaina in Form zahlreicher Teilflächen und Stotzen erhalten und durch das heutige Bett von der Nordoase getrennt sind. Dabei ist auszuschließen, daß diese Sedimente aus dem Einzugsgebiet des Wādī Ġufaina stammen, da dieses nur relativ ungleichmäßiges Material mitführt. Der Anlage „al-Mabnā“ können die Sedimente (als Stauraumsedimente) ebenfalls nicht zugeordnet werden, da sie sich mit Höhenlagen bis zu 1194 m ü.M. etwa 7 m über der Bauwerksoberrante befinden. Diese Sedimente müssen also während älterer Betriebsperioden über den Hauptverteiler bzw. entsprechende Vorgängerbauwerke des Nordbaus N1 herantransportiert worden sein. Sie stellen Überreste ehemals zusammenhängender Bewässerungsflächen der Nordoase dar. Für diese Aussage spricht auch die Zusammensetzung, die den Sedimenten der Nordoase gleicht.

Von Interesse ist der Zeitpunkt, zu dem die Sedimentreste von der Nordoase abgetrennt wurden. Ob es sich dabei um eine bewußte Durchschneidung der Kulturlächen handelt oder ob die Rinne zufällig, z. B. durch einen Dammbruch aufgrund eines extremen Abflußereignisses entstand, kann nicht geklärt werden.

Entscheidend dabei ist, daß die Rinne von diesem Zeitpunkt als Bett des Wadis diene und die abgetrennten Bereiche keine weitere Bewässerung und daraus folgende Sedimentierung erfuhren.

Auf der Grundlage der Höhen der genannten Sedimentreste ist mit Hilfe eines hydraulischen Schnittes zum Hauptverteiler eine zeitliche Einordnung möglich. Dabei werden die aktuellen Höhen der Sedimentreste auf den zu ihrer Ablagerung mindestens notwendigen Wasserspiegel im Hauptverteiler bezogen, wobei die zurückgelegte Fließstrecke des Bewässerungswassers und das Mindestgefälle berücksichtigt werden (s. Abb. 53).

Zu den einzelnen Faktoren sind folgende Anmerkungen zu machen:

- die aktuelle Höhe ü.M. der Sedimente liegt aus örtlichen Messungen vor;
- die Erosionsrate muß abgeschätzt werden, dabei sind in den Randlagen die Auswirkungen der Erosion so gering, daß sie im Rahmen dieser Betrachtung vernachlässigt werden können;
- für die zur Ablagerung notwendige Überstauhöhe wird ein Mindestwert berücksichtigt, dafür wird ein Betrag von 0,2 m angesetzt;

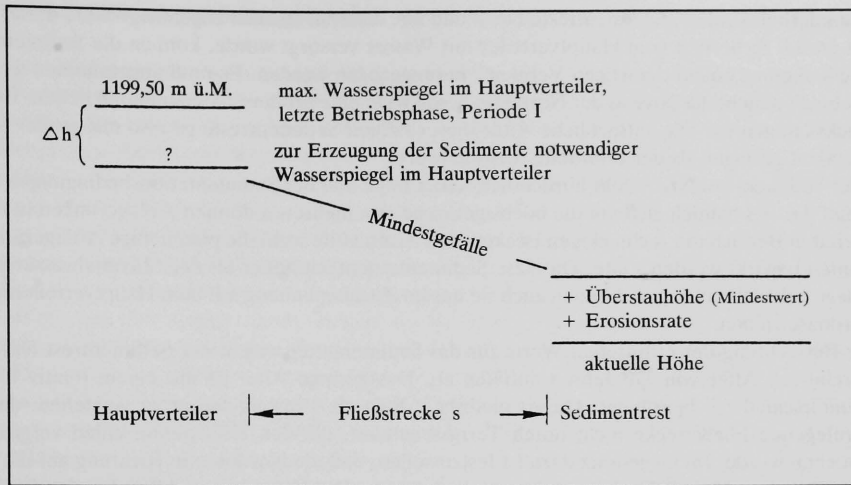


Abb. 53. Hydraulischer Schnitt.

- die Entfernung S zwischen jeweiligen Sedimentresten und Hauptverteiler wird, soweit möglich, aus der Rekonstruktion des Kanalnetzes entnommen;
- als Mindestgefälle wird von dem Wert $I = 1\%$ ausgegangen, ein maximales Gefälle kann nicht angegeben werden, da mögliche, aber nicht rekonstruierbare Terrassenstufen auf der Oase den Höhenunterschied stark vergrößern können;
- die Höhenlage des maximal möglichen Wasserspiegels im Hauptverteiler während der letzten Betriebsphase in der Periode I beträgt 1199,50 m ü.M.;
- das relative Alter der Sedimentreste, bezogen auf den Zeitpunkt der Aufgabe der Bewässerungskultur, wird unter Berücksichtigung der jährlichen Erhöhungsrates²¹³ 0,7 cm/a festgesetzt.

Das ermittelte relative Alter ist allerdings nur als Maximalwert zu verstehen. Dieser Umstand ist in der Verwendung des Minimalgefälles begründet. Wurde dieses zugrundegelegte Gefälle überschritten oder war die Bewässerungsfläche durch Terrassen gegliedert, wird eine Berechnung zu einem entsprechend geringeren Alter der Anlage „al-Mabnā“ führen.

Die für die Untersuchung relevanten Daten sowie die errechneten Werte für das maximale Alter (relativ zur Betriebsaufgabe) sind in der Tab. 5 zusammengestellt.

Tab. 5 Wesentliche Daten für die Altersbestimmung der Sedimentreste.

Sedimentrest Nr.	H[m]	Distanz S[m]	NH H[m]	h [m]	max. Alter [a]
1	1194,30	1200	1195,7	3,8	550
2	1193,37	1350	1194,9	4,6	650
3	1190,19	2050	1192,4	7,1	1000
4	1192,78	1950	1194,9	4,6	650
5	1194,64	2000	1196,9	2,6	370

213 vgl. Wagner, Untersuchungen, 193.

Als Besonderheit sind die Sedimentreste Nr. 3 und Nr. 4 einem Becken zugehörig²¹⁴. Da dieses Becken mit großer Sicherheit vom Hauptverteiler mit Wasser versorgt wurde, können die Sedimentreste ohne Bedenken zu einem derartigen Vergleich herangezogen werden. Es muß angenommen werden, daß das Becken nicht das Niveau der Nordoase besaß bzw. eine größere Überstauhöhe in dem Becken zu berücksichtigen ist. Das tatsächliche Alter dieser beiden Sedimentreste ist also mit großer Wahrscheinlichkeit geringer als der ermittelte Maximalwert.

Auch der Sedimentrest Nr. 5 stellt hinsichtlich seiner Lage und der Sedimentationsbedingungen einen Sonderfall dar. Es handelt sich um die höchstgelegene von mehreren dünnen Ablagerungen in einem ausgedehnten Bereich mit rechteckigen Becken, mit deren Hilfe wohl die planmäßige Ablagerung von Sedimenten bewirkt werden sollte. Da diese Sedimente deutlich höher als der Maximalwasserspiegel der Anlage „al-Mabnā“ liegen, können auch sie nur im Zusammenhang mit dem Hauptverteilersystem der Nordoase stehen.

Bei der Betrachtung der ermittelten Werte für das Sedimentalter weicht der Sedimentrest Nr. 5 mit einem relativen Alter von 370 Jahren auffällig ab. Das geringe Alter ist mit einem relativ kleinen Höhenunterschied Δh begründet. Dieses niedrige Δh ist als Hinweis darauf zu verstehen, daß die zurückzulegende Fließstrecke nicht durch Terrassenstufen, die den Höhenunterschied vergrößern, unterbrochen wurde. Im Gegensatz dazu ist festzustellen, daß die Nordoase in Richtung auf die Sedimentreste Nr. 1 und Nr. 2 durch Terrassen gegliedert war. Die Höhenunterschiede bei den Sedimentresten Nr. 3 und Nr. 4 sind begründet durch deren Anordnung in einem Becken, welches sicher nicht bis zu dem seinerzeitigen Niveau der angrenzenden Felder zusedimentiert war.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, daß die untersuchten Sedimentreste höchstens 370 Jahre vor Aufgabe der Bewässerungskultur abgelagert wurden. Damit ist die maximale Betriebszeit der in das Wādī Ġufaina gerichteten Hochwasserentlastung am Nordbau festgelegt. Vor diesem Zeitpunkt mußten an den älteren Ableitungsanlagen (z. B. N2) Einrichtungen zur Hochwasserentlastung vorhanden sein, die das Wasser in das Wādī Dana zurückleiteten. Während der älteren Perioden wurden die geringen Abflüsse aus dem Wādī Ġufaina gefaßt und für Bewässerungszwecke in das Kanalnetz der Nordoase eingespeist.

Das relative Alter der Bauanlage „al-Mabnā“ (und des davon abhängigen Bewässerungsnetzes) muß um einige Jahre geringer sein als die genannten 370 Jahre, da diese Einrichtung erst in den neuentstandenen Wadiverlauf hineingebaut wurde.

5.4 VERÄNDERUNGEN AN DER ANLAGE „AL-MABNĀ“

Die Schichten in den Mauern der Anlage „al-Mabnā“ führten bereits Glaser²¹⁵ zu der Annahme, daß der Bau während verschiedener Betriebsperioden zu der endgültigen Höhe aufgebaut wurde. Die Vermutung muß jedoch verworfen werden; denn nicht nur die von Brunner²¹⁶ angeführte Tatsache, daß das Wasserdargebot direkt auf eine möglichst große Höhe angestaut werden mußte, auch der gleichartige Aufbau der aus Kalkspolien erstellten Bauelemente, die Versprünge und uneinheitlichen Schichten widersprechen Glasers Aussage. Der Aufbau von Mauern aus Schichten gehört zu der gerade während der späten Betriebsperiode üblichen Bauweise. Ob die teilweise weniger stark ausgeführte obere

214 ebd., 203. Zur Situation der Becken vgl. Brunner, Erforschung, 76f.

215 vgl. Glaser, Reise, 49.

216 vgl. Brunner, Erforschung, 80.

Schicht das Zeichen einer Erhöhung darstellt, muß weitergehenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Bei einer genaueren Betrachtung sind einige Anzeichen für Umbauten an der Anlage erkennbar. Diese Veränderungen waren aber wohl nicht mit fehlender Wasserspiegellhöhe begründete Erhöhungen, sondern durch mangelhafte Funktionserfüllung oder veränderte Zielsetzungen verursacht. Auch Beschädigungen durch außergewöhnliche Hochwasserereignisse sowie starke Erosion, die an den benachbarten Oasenflächen angriff, können umfangreiche Umbauten veranlaßt haben.

Bei der Betrachtung der kartierten Bauwerkssituation und der Auslaßrichtungen fällt die sehr gute Übereinstimmung der Fließrichtungen von (A2) und dem verschlossenen (A3) auf. Dies führt zu der Vermutung, daß die ursprüngliche Konzeption der Anlage die Auslässe (A1), (A2) und (A3) umfaßte; (A1) muß wegen der beschriebenen Übereinstimmungen (Bauweise, Dimensionen) mit (A2) einbezogen werden. Auf eine Ergänzung der Anlage um die Mauer D und den Auslaß (A4) deutet auch die ungünstige Zuordnung von Mauer D und Auslaß (A2) hin. Im Bereich des Auslasses (A2) muß ein deutlicher Ansatz- oder Schnittpunkt der Mauern zu finden sein, wenn der südlich (A3) gelegene Teil der Mauer C nicht zum gleichen Zeitpunkt wie Mauer D errichtet oder umgebaut worden ist.

Die Deutung des Auslasses (A4) als Betriebsauslaß für die Bewässerungsflächen um Dār as-Saudā³ ist nicht voll befriedigend, da der zugehörige Hauptkanal die Trasse des ehemals von (A3) kommenden Kanals kreuzt. Möglicherweise wurde das Wasser von (A4) in diese alte nördliche Kanalführung zur Nordoase eingeleitet, so daß die östlich gelegene Verzweigung des mittleren Kanals erst gleichzeitig mit der Stilllegung von (A4) anzusetzen wäre. Die Versorgung der Flächen von Dar as-Saudā³, die zudem bis in relativ große Höhe aufsedimentiert sind, muß bei einer derartigen Konstellation allerdings auf andere Art erfolgt sein.

Eine differenzierte Bearbeitung des Auslasses (A4) aus bauhistorischer Sicht könnte zu weiteren Hinweisen führen, da die Abrundung beider Ecken des westlichen Pfeilers mit Elementen anderer Wasserbauwerke nicht vergleichbar ist. Die Art der Abrundung weist auf ein Teilungsbauwerk hin, wie es beim Nordbau gut erhalten ist.

6. Bewässerungsnetze auf den Oasen

Als Ausgangssituation wurden auf der antiken landwirtschaftlichen Kulturfläche unzählige Bauwerke in verschiedenen Erhaltungszuständen vorgefunden, deren Zweckbestimmung in der Mehrzahl die Regulierung und Steuerung der Bewässerung für die landwirtschaftlichen Kulturen war. Die Oase ist flächenhaft erodiert, so daß lediglich die erhöht stehenden Bauwerke auf das ehemalige Niveau schließen lassen. Weiterhin sind zahlreiche Oberflächenformen vorhanden, die von antiken Kanälen, Feldwällen oder Kulturen Zeugnis ablegen. In den tiefen, die randlichen Bereiche zerteilenden Erosionsrinnen sind vereinzelt Bewässerungsbauwerke aus sehr alten Betriebsperioden freigelegt. Die fortschreitende Zerstörung der Bewässerungsbauwerke vernichtet unwiderruflich die Zeugnisse der sabäischen Bewässerungskultur. Gerade die mit großer Geschwindigkeit voranschreitende Rekultivierung hat dazu geführt, daß bis auf eine äußerst geringe Anzahl heute keine Bewässerungsbauwerke auf den Oasen erhalten sind. Auch die während der Feldarbeiten dokumentierten Bauwerke sind in der Zwischenzeit nahezu sämtlich zerstört worden.

Die Untersuchungen auf den Oasen von Märib sollten zur Bearbeitung folgender Arbeitsbereiche dienen:

- Funktion der Bewässerungssysteme,
- Ausdehnung der landwirtschaftlichen Kulturflächen,
- Entwicklung der Bewässerungsanlagen,
- Art des Bewässerungsverfahrens.

Das Gesamtsystem kann hinsichtlich seiner Funktion durch hydraulische Untersuchungen der Einzellemente und einen Vergleich der Bemessungsgrößen erklärt werden. Auf der Grundlage der Höhen- und Lageangaben ist die Zuordnung der Einzelbauwerke zueinander und auch die Rekonstruktion eines funktionsfähigen, plausiblen Kanalnetzes möglich.

Die Untersuchungen im Verteilungssystem müssen aufbauen auf der Analyse des Wasserdargebots und auf den Erkenntnissen über Funktionsabläufe an den Auslaßanlagen Nord- und Südbau.

Die Ermittlung von Umfang, Funktion und Entwicklung des Bewässerungssystems und seiner Bauwerke kann durch folgende methodische Vorgehensweise erreicht werden:

- Aufnahme der Bauwerke und anderer Überreste im Felde,
- darauf aufbauende Entwicklung eines plausiblen Kanalnetzes,
- hydraulische Analyse der Einzelbauwerke,
- Entwicklung von möglichen Ganglinien des Hauptverteilers,
- Ermittlung des möglichen Wasserdargebots auf Feldebene.

Für die Arbeiten wurde der westliche Teil der Nordoase ausgewählt, wobei über 740 Einzelbauwerke erfaßt wurden. Die dabei berücksichtigte Fläche beträgt etwa 750 ha. Diese Bauwerke können nach ihrer Funktionsweise hauptsächlich in Durchlaßbauten mit Verteil-, Auslaß- oder Steuerungsfunktion, Überlaufbauwerke und Absturzbauwerke untergliedert werden. Vergleichbare Bauwerksaufnahmen

wurden in einem Teilgebiet des Ġufaina-Bewässerungsnetzes sowie auf begrenzten Teilflächen der Südoase durchgeführt, wobei auf der Südoase nur wenige Untersuchungsmöglichkeiten durch die fortschrittene Rekultivierung zur Verfügung standen.

Das Ziel der in Märib durchgeführten Arbeiten war eine spezielle Lösung für ein mögliches Bewässerungsschema. Aufgrund der örtlichen Bedingungen zum Zeitpunkt der Felduntersuchungen und der fortschreitenden Rekultivierungstätigkeit konnte diese Zielsetzung nur für den Bereich der Nordoase und die letzte Betriebsperiode I angestrebt werden.

6.1 FELDBAU AUF DEN ANTIKEN OASEN

Die Feldgröße entspricht der Größe der Bewässerungsbecken, die 1–2 ha groß sind. Diese Becken wurden nach dem Prinzip des Beckeneinstaus mit einer Wassertiefe zwischen 0,2 m und 0,8 m eingestaut. Dabei ist davon auszugehen, daß in den Becken aufgrund der zeitlichen Verteilung des Wasserdargebots (kurze Abflußperioden) nur ein einziger Bewässerungsvorgang pro Vegetationsperiode möglich war. Eine weitere Unterteilung der Becken bzw. Einrichtungen zur differenzierteren Wasserverteilung wie z. B. Wälle oder Kanäle 4. Ordnung waren nicht üblich und nicht erforderlich. Es kann dennoch nicht ausgeschlossen werden, daß die Felder von verschiedenen Personen bearbeitet wurden. Eine Unterteilung in Streifen, die durch Steinmarkierungen in den Feldwällen gekennzeichnet sind, ist bis in jüngste Zeit in Südarabien nachgewiesen²¹⁷. Auf Feldern, die einen zusätzlichen Feldauslaß zur Weiterleitung des Wassers auf ein nachfolgendes Feld besaßen, wurde auch mit geringeren Überstauhöhen, die vom Niveau der Auslaßschwelle abhingen, gearbeitet²¹⁸. In Verbindung mit dem Fließvorgang auf der Feldebene entspricht dieses Verfahren der Rieselbewässerung.

Die Feldbestellung wurde beeinflußt von dem Anbauprodukt, der Bewässerungstechnik und dem Produktionsziel. Die wesentlichste Ausgangsbedingung bildete aber stets das Wasserdargebot, das bzgl. Zeit und Menge nicht vorhersehbar war, in Verbindung mit den Teilrechten des einzelnen Landwirtes. Die Praktiken auf Feldebene sind mit denen des heute noch im Jemen weit verbreiteten Regenfeldbaus vergleichbar, der sich der temporären Abflüsse im Wadi bedient.

Eine mögliche Verteilung der Saat- und Erntezeiten der wichtigsten Anbauprodukte über den Jahreslauf geht aus Abb. 54 hervor. Die bei dem Bewässerungsfeldbau aufgeführten Pflanzen mußten bereits bei den Sabäern mit Grundwasser versorgt werden.

Neuere Untersuchungen²¹⁹ aus dem Becken von Šanā zeigen auf, daß auch heute noch in der traditionsbewußten jemenitischen Landwirtschaft die wichtigsten Termine im Agrarjahr durch astronomische Erscheinungen und das aktuelle Witterungsgeschehen bestimmt werden. Dazu sind in der Landwirtschaft des jemenitischen Hochlandes verschiedene traditionelle Kalender in Benutzung. Möglicherweise hat diese Anbauplanung ihre Wurzeln schon im Sabäerreich, da in bewässerungsabhängigen Kulturen bereits sehr früh Astronomie und Mathematik wissenschaftlich entwickelt sein mußten²²⁰. Dieselbe Fortsetzung althergebrachter Traditionen ist auch bei der Verwendung der Bearbeitungsgeräte zu beobachten; bis zum Aufkommen motorisierter Ackergeräte in jüngster Zeit wurden in der Landwirtschaft ausschließlich der hölzerne Hakenpflug, das Glätzbrett, die Sichel und die Hacke verwendet²²¹. Sämtliche Arbeiten der traditionellen Landwirtschaft einschließlich der Bewässerungsvor-

217 vgl. Serjeant, *Irrigation Systems*, 42, Fig. 1.

218 Diese Aussagen treffen für alle in den Sedimentschnitten nachweisbaren Perioden der Bewässerungskultur zu.

219 vgl. E. Betzler, *Sozialer Umbruch und Kulturlandschaftswandel in Südarabien*, (1987) 154ff.

220 Auf die besondere Bedeutung dieser Wissenschaften weist Wittfogel hin, vgl. Wittfogel, *Despotie*, 55f.

221 vgl. A.M.A. Maktari, *Water Rights and Irrigation Practices in Lahj* (1971) 55; R. Straub, *Böden als Nutzungspotential im System der semiariden Tropen* (1986) 55f.

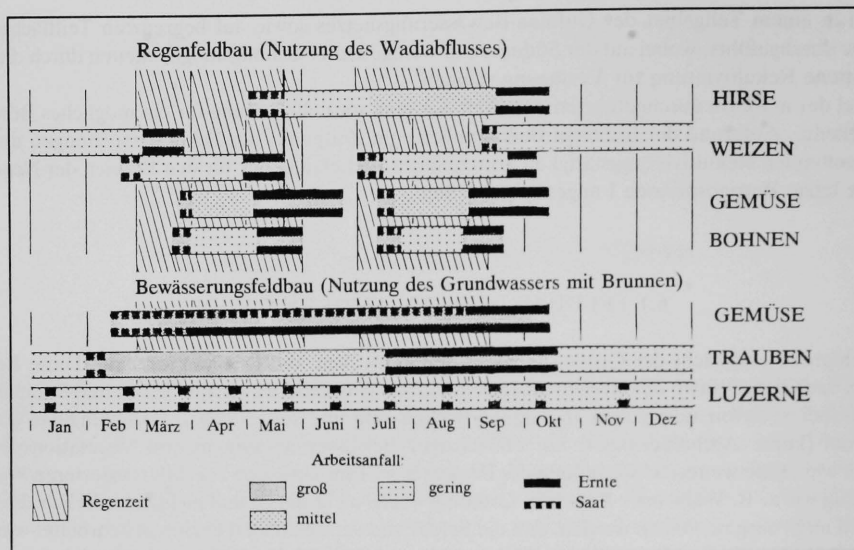


Abb. 54. Saat- und Erntezeiten der aktuellen Landwirtschaft im Becken von Şanā.

bereitung lassen sich damit durchführen. Es ist anzunehmen, daß bereits die Sabäer über dieselben Geräte und Techniken verfügten.

Eine Analyse der Bewässerungsvorgänge auf Feld- bzw. Pflanzenebene ist nur in begrenztem Rahmen möglich. Es ist davon auszugehen, daß die in der antiken Landwirtschaft angebauten Feldfrüchte an die besonderen Bedingungen hinsichtlich Wasserdargebot bzw. Bewässerungstechnik und Klima in hohem Maße angepaßt waren. Angaben über Pflanzenwasserverbrauch und Vegetationsdauer in Bezug auf die heute eingesetzten Sorten können aus der Literatur sicherlich nur in sehr begrenztem Umfang hinzugezogen werden. Forschungsarbeiten aus dem Becken von at-Tur²²² verzeichnen beispielsweise mehrere dort heute gebräuchliche Varietäten der Hirse mit einem relativ geringen Wasserbedarf, einer hohen Dürresistenz und einer reduzierten Vegetationszeit. Die Pflanzen können mehrwöchige Trockenzeiten überdauern²²³. Entsprechende Eigenschaften wiesen wohl auch die in der sabäischen Landwirtschaft verwendeten Kulturpflanzen auf. Die Ertragsmaximierung ist nicht als Produktionsziel der Antike anzusehen.

Zusätzlich zu den beschriebenen Bewässerungsverfahren wurden auf den antiken Oasen noch vielfach Brunnen²²⁴ zur Nutzung des Grundwassers, das im Schuttfächer des Wadis herangeführt wurde, betrie-

222 vgl. Straub, Böden, 146. Das Becken von At Tur liegt am westlichen Abfall des jemenitischen Hochlandes, ein Vergleich der landwirtschaftlichen Verhältnisse ist gut möglich.

223 Wegen Wassermangels nicht ausgereifte Hirse konnte als Viehfutter Verwendung finden, wie es noch heute ist im Becken von At Tur zu beobachten ist.

224 Brunnen wurden bei den Felduntersuchungen auf

den Oasen an zahlreichen Stellen nachgewiesen, zur Verteilung auf der Bewässerungsfläche vgl. Abb. 70. Es sei auf ein von Dequin veröffentlichtes Foto aus dem Jahr 1960 hingewiesen, welches Beduinen in Märüb bei der Benutzung eines Brunnens zeigt. Dieser war offensichtlich mit Spolien ausgekleidet, so daß vermutet werden kann, daß tatsächlich ein antiker Brunnen abgebildet ist. Vgl. Dequin, Republik, 98.

ben. Dadurch war auch der Anbau von Pflanzen mit einem ständigen Wasserbedarf möglich. Die Bewässerung mit Brunnen bedingte in den Feldern die Anlage kleiner Deiche, um ein Abfließen des Wassers zu vermeiden. In diesem Zusammenhang sind die in Verbindung mit Baumkulturen angelegten Ringwälle zu erwähnen, die für die antiken Oasen an zahlreichen Stellen belegt sind. Mit welchen Hilfsmitteln das Wasser gefördert wurde, muß unklar bleiben. In Frage käme der noch heute im Jemen gebräuchliche Schaduf, der z. B. in Ägypten für frühere Zeiten nachgewiesen wurde²²⁵. Mit derartigen Einrichtungen hätten jeweils etwa 8-10 ha ständig bewässert werden können²²⁶. Aussagen über die verwendeten Kulturpflanzen²²⁷ sind bisher im wesentlichen auf der Grundlage von Inschriften möglich. Neben dem Anbau von Getreide, Gemüse und Futterpflanzen wurde ein besonderer Wert auf die Nutzung zahlreicher Bäume gelegt. Aussagen, die über die Pflanzen aus dem Alten Ägypten und deren Nutzungsmöglichkeiten vorliegen²²⁸, können mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Verhältnisse in Märib übertragen werden. Es ist zu erwarten, daß auf den Oasen außer Obstbäumen vor allem Dattelpalmen vorhanden waren. Aufgrund der vielfältigen Verwendbarkeit besaß gerade die Dattelpalme einen besonderen Wert. Für die Deckung des Holzbedarfs bei Bautätigkeiten ist von der Nutzung der Akazie²²⁹ auszugehen, die eine künstliche Bewässerung nicht unbedingt erforderte.

6.2 HAUPTVERTEILERBAUWERK NORDOASE

Die Verteilung des durch den Hauptkanal vom Nordbau heranfließenden Bewässerungswassers in die Teilgebiete der Nordoase versorgenden Kanäle wurde mit dem Hauptverteiler (NH) (s. Abb. 55) durchgeführt. Diese Anlage befindet sich im westlichen Randgebiet der Bewässerungsflächen in der Nähe des Nordbaus. Dieses bereits von Glaser als wichtige Verteileranlage gedeutete Bauwerk wurde von ihm als „Ḥuṣn al-Asfal“ bezeichnet²³⁰.

Neben einer Kurzdarstellung von Schoch²³¹ liegt eine detaillierte Baubeschreibung von Mathieu²³² in Verbindung mit einer steingerechten Aufnahme vor.

Es kann aufgrund des Trassenverlaufs des Hauptkanals vermutet werden, daß der bis heute erhaltene Hauptverteiler schon zur Betriebszeit eines älteren Hauptkanals in Funktion stand. Eine derartig lange Betriebszeit bedingt jedoch, daß große Bauwerksteile einsedimentiert wurden und nur durch eine Freilegung aufzufinden sind.

Deutliche Hinweise auf einzelne Betriebsperioden (wie z. B. am Nordbau) sind zumindest im sichtbaren Bereich nicht am Mauerwerk ablesbar. Erhöhungen um kleinere Beträge, die aufgrund der Sedimentation auf Feldern und in Kanälen bei den Bauwerken auf den Oasen überall erforderlich waren, können am Hauptverteiler nur bei einigen Teilelementen, z. B. an Flügelmauern, gefunden werden. Diese Beobachtung zeigt, daß die geringeren Erhöhungen im Verteilungsnetz an dieser Anlage nicht

225 vgl. M. Schnebel, Die Landwirtschaft im hellenistischen Ägypten (1925) 83.

226 vgl. M. Eyth, Das Wasser im Alten und Neuen Ägypten (1891) 18.

227 vgl. die Ausführungen bei Brunner, Erforschung, 104; I. Hehmeyer, PSAS 19, 1989, 38 ff.; I. Hehmeyer, Der Bewässerungslandbau auf der antiken Oase von Märib, ABADY V (1991).

228 vgl. dazu die grundlegenden Arbeiten: L. Keimer, Die Gartenpflanzen im Alten Ägypten I (1934);

ders., Die Gartenpflanzen im Alten Ägypten II (1984); R. Germer, Flora des Pharaonischen Ägypten (1985).

229 vgl. Keimer, Gartenpflanzen II, 19 ff.

230 vgl. Glaser, Reise, 70.

231 vgl. R. Schoch, Die Wasserbauten auf der Nordoase, 26 ff. ABADY I (1982).

232 vgl. K. Mathieu, Das Hauptverteilerbauwerk auf der antiken Nordoase von Märib, 3–20. ABADY III (1988).

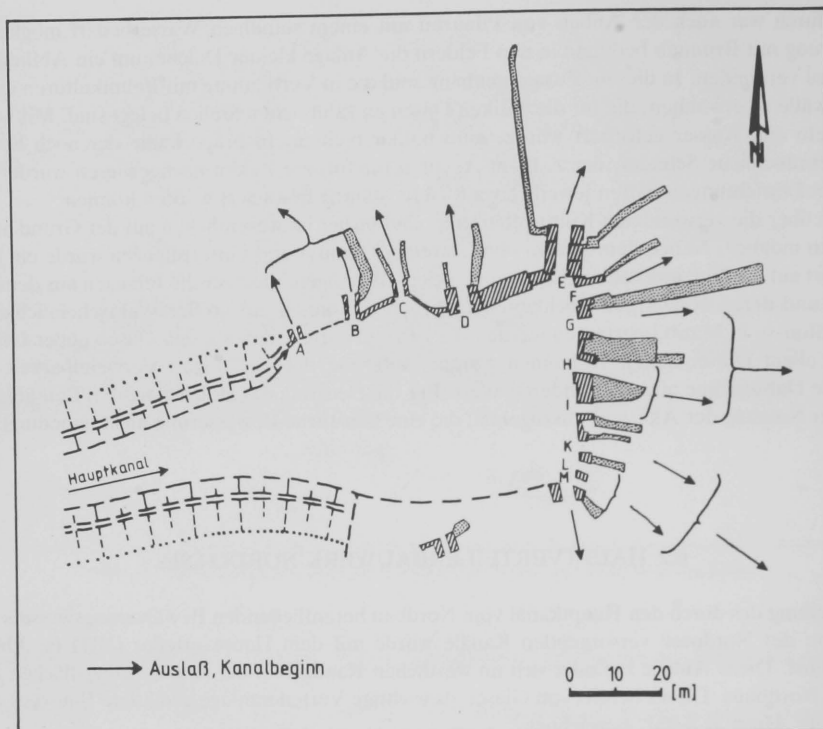


Abb. 55. Hauptverteilerbauwerk Nordoase.

mitvollzogen wurden und i.d.R. mit einer Verringerung der Wasserspiegeldifferenz zwischen Hauptverteiler und Kanalbeginn ausgeglichen wurden; die geringen Erhöhungen der Flügelmauern werden dadurch erklärt. Zu vermutende Erhöhungen um größere Beträge, die bei Veränderungen an den Auslaßbauwerken im Wadi vorgenommen werden mußten, sind unter den Sedimenten verborgen.

Der Hauptverteiler der Nordoase (NH) stellt die Kombination von 13, ein eckiges Becken bildenden Durchlässen dar, die konstruktiv miteinander verbunden sind. Einige im südlichen Randbereich erhaltene Reste sind nur schwer zu deuten. Es wird klar, daß mit dieser Anlage eine planmäßige Weiterentwicklung des Prinzips der aus einzelnen Durchlässen gebildeten Bauwerksgruppe vorliegt.

Das im Hauptkanal herangeführte Wasser wird in Kanäle niederer Ordnung verteilt. Der sich daraus ergebende Transport des Wassers in die z. T. weit entfernt liegenden Teilgebiete mit Hilfe nachgeordneter Kanäle ist charakteristisch für die Aufgliederung des Kanalnetzes auf dem Westteil der Nordoase während der letzten Betriebsperiode. Weder in dem System von Gufaina noch vermutlich auf der Südoase war eine vergleichbare Konzeption zu finden; dort haben die Hauptkanäle sowohl die Aufgabe der Zuleitung zu den als auch der Verteilung innerhalb der Bewässerungsflächen.

Die Auslässe und Verbindungselemente des Hauptverteilers sind als Schüttmauern mit Hinterfüllung erstellt worden, wobei ausschließlich Spolien Verwendung fanden. Die sichtbaren Mauern sind meist mit Mörtel verfugt oder flächenhaft verputzt. Die hinter der Mehrzahl der Auslässe anschließenden Flügelmauern sind als Schüttmauern mit Verputz ausgeführt worden.

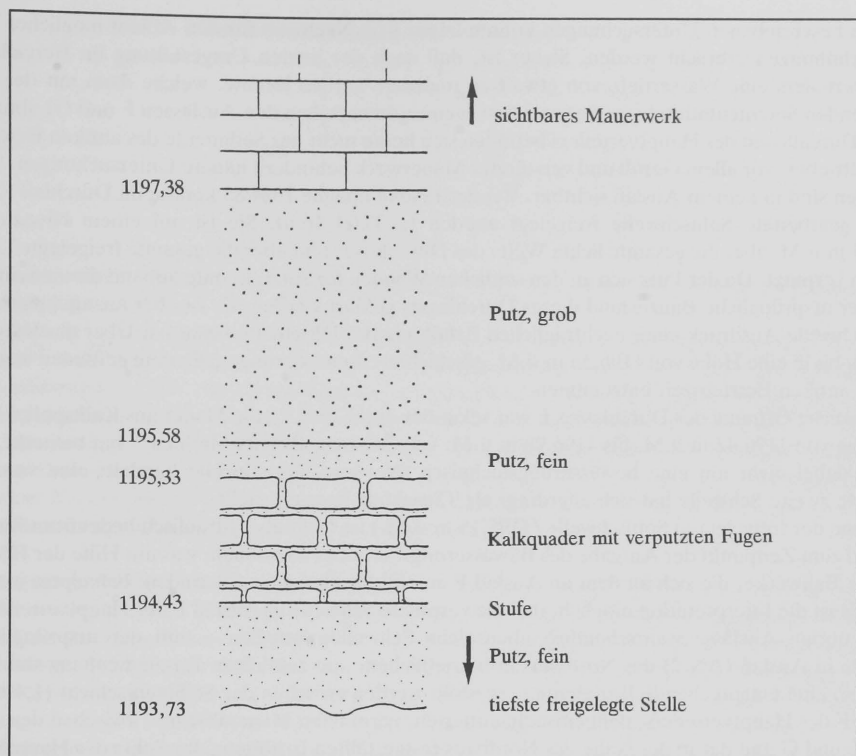


Abb. 56. Ansicht der Mauerfront zwischen den Auslässen F und G im Hauptverteiler.

Die bauhistorische Entwicklung des Hauptverteilers ist anhand der sichtbaren Bauten nicht nachvollziehbar. Der beckenartige Innenbereich ist bis in Höhen von ca. 1196,3 m ü.M. (Beckenmitte) und ca. 1197,5 m ü.M. (Rand) mit Sedimenten angefüllt. Da noch Bauabschnitte älterer Betriebsphasen zu finden sein mußten, wurden Teile einer Mauerfront (zwischen den Durchlässen F und G) freigelegt. Die Ansicht der bis in eine Tiefe von 4 m aufgenommenen Mauer ist in Abb. 56 und Tafel 15 d dargestellt.

Im unteren Bereich ist eine verputzte, vermutlich aus Bruchgestein bestehende Schwelle der Mauer vorgesetzt, welche bis zur Höhe von 1194,43 m ü.M. reicht; tiefer gelegene Bereiche konnten nicht aufgeschlossen werden. Ob die vorgesetzte Schwelle Zeichen einer Erhöhung ist oder ehemals dem Schutz der Fundamente im Anströmbereich diente, konnte nicht geklärt werden. Die freigelegten Sedimente sind eindeutig während des antiken Bewässerungsbetriebes dort abgelagert worden, so daß der Fund zahlreicher verstürzter Kalkquader in diesem tiefen Niveau verwundert. Sie sind vermutlich (bei einer Katastrophe) herabgestürzt, dann jedoch nicht mehr als Baumaterial verwendet worden. Der im unteren Mauerbereich befindliche, wulstartige Verputz der Fugen ist in ähnlicher Ausführung von einigen Partien des Nord- und Südbaus bekannt. Er ist möglicherweise gleichzeitig mit der verputzten Stufe angebracht worden. Der flächenhafte Verputz bricht plötzlich in der Höhe 1197,38 m ü.M. ab, was etwa mit der Grenze der Sedimentabdeckung übereinstimmt. Es ist daher anzunehmen, daß auch höhere Bereiche des Mauerwerks damit bedeckt gewesen sind.

Mit den beschriebenen Untersuchungen konnte leider kein Nachweis für den Ablauf möglicher Bauwerkserhöhungen erbracht werden. Sicher ist, daß nach der letzten Umgestaltung im Bereich des Hauptverteilers eine Wassertiefe von etwa 6 m realisiert werden konnte, welche dann mit der fortschreitenden Sedimentation bis auf etwa 2,5 m (gemessen zwischen den Auslässen F und G) abnahm. In den Durchlässen des Hauptverteilers befinden sich heute nicht nur Sedimente des antiken Bewässerungsbetriebes, vor allem Geröll und verstärktes Mauerwerk behindern nähere Untersuchungen. Sohl-schwellen sind in keinem Auslaß sichtbar. Bei der Feldkampagne 1984/85 konnte im Durchlaß F eine sauber gearbeitete Sohlschwelle freigelegt werden (s. Tafel 16 a). Sie ist auf einem Niveau von 1195,15 m ü.M. über die gesamte lichte Weite des Durchlasses und über die gesamte freigelegte Länge von 2 m verputzt. Da der Putz sich an den seitlichen Wänden fortsetzt, konnte anhand dieser Schwelle nicht der ursprüngliche Bauzustand dieses Durchlasses geklärt werden. Es ist aber anzunehmen, daß diese Schwelle Ausdruck einer nachträglichen Erhöhung des Durchlaßniveaus ist. Über der Schwelle konnten bis in eine Höhe von 1196,55 m ü.M. geschichtete Bewässerungssedimente gefunden werden, die der antiken Betriebszeit entstammen.

Die westliche Öffnung des Durchlasses F war sekundär durch eine kleine Mauer aus Kalkspolien über die Höhe von 1196,42 m ü.M. bis 1196,98 m ü.M. verschlossen. Bereits Mathieu²³³ hat bemerkt, daß es sich dabei nicht um eine bewässerungstechnisch relevante Sohlschwelle handelt; eine von ihm erwähnte zweite Schwelle hat sich allerdings als Täuschung herausgestellt.

Die Höhe der freigelegten Sohlschwelle (1195,15 m ü.M.) ist nicht als hydraulisch bedeutsam für den Zustand zum Zeitpunkt der Aufgabe des Bewässerungsbetriebes anzusehen, was mit Hilfe der Höhenlage der Bauwerke, die sich an dem an Auslaß F anschließenden Kanal befinden, behauptet werden kann. Es ist die Interpretation möglich, daß die verputzte Schwelle in Auslaß F des Hauptverteilers – dessen übrige Auslässe wahrscheinlich ebensolche Schwellen besaßen – mit der ursprünglichen Schwelle in Auslaß (AN 2) des Nordbaus in betrieblichem und zeitlichem Zusammenhang steht. Es kann also eine entsprechende Beziehung hergestellt werden zwischen der Sedimentschicht (1,4 m) in Auslaß F des Hauptverteilers, dem einsedimentierten, verputzten Mauerabschnitt zwischen den Auslässen F und G und der in der Nähe des Nordbaus festgestellten Erhöhung der Sohle des Hauptzuleitungskanals um den Betrag von 1,8 m.

Wird im Auslaß F zum Zeitpunkt der Aufgabe des Bewässerungsbetriebes eine Sedimentschicht von 1,8 m angenommen, kann von einer wirksamen Sohlhöhe von 1197,00 m ü.M. ausgegangen werden. Aus einem vollständig erhaltenen Teilelement des Hauptverteilers (Höhe 1200,00 m ü.M.) kann der maximal mögliche Wasserstand von 1199,50 m ü.M. abgeleitet werden.

Regulierung und bewußte, planmäßige Steuerung der Wasserverteilung sind die realistischen Kennzeichen der antiken Betriebsabläufe. Umfangreiche Beschädigungen an den Auslässen lassen allerdings die Rekonstruktion von unterströmten Wehren nur in 4 Auslässen zu, entsprechende Vorrichtungen in den übrigen sind aber anzunehmen. Die z. T. vorgefundenen Nutzungen in den Kalksteinwänden dienten der Aufnahme von Stein- oder Holzbalken, die Basen der Nutzungen befanden sich in Höhen zwischen 1196,34 m ü.M. (Auslaß E) und 1197,09 m ü.M. (Auslaß F). Zur Sicherung der Funktion bei der fortschreitenden Sedimentation wurden die Nutzungen teilweise später verschlossen, so daß sich die Balkenaufleger im letzten Betriebszustand in Höhen zwischen 1198,10 m ü.M. und 1199,03 m ü.M. befanden.

Diese Balkenwehre dienten der Begrenzung des Maximaldurchflusses in den Auslässen. Mit der Annahme einer Sohlhöhe von 1197,00 m ü.M. und einer Wasserspiegelhöhe von 1199,50 m ü.M.

Tab. 6 Auslaßkapazitäten mit Wehrbalken.

Auslaß	Breite [m]	Nutbasis [m ü.M.]	$Q_{\max}$ [m³/s]
B	1,45	1199,0	7,7
C	1,30	1198,8	6,5
E	2,42	1198,5	10,7
F	3,09	1198,2	11,2

ergeben sich für die Auslässe, deren Nutungen heute noch erkennbar sind, die folgenden Durchflußkapazitäten bei eingelegten Wehrbalken.

Neben den 13 größtenteils erhaltenen und rekonstruierbaren Auslässen des Hauptverteilers beschreibt Mathieu²³⁴ noch einen weiteren an der sonst vollständig zerstörten Südseite, westlich des Auslasses M. Die Ausführung des dort erhaltenen Baukörpers unterscheidet sich jedoch vollständig von den übrigen Bauelementen des Hauptverteilers. Es ist daher fraglich, daß hier tatsächlich ein weiterer Auslaß existiert hat. Auch die umgebende Topographie und das rekonstruierte Kanalnetz lassen ebenfalls die Existenz eines weiteren Auslasses, zumal an dieser exponierten Stelle, bezweifeln. Möglicherweise ist in diesem Bauteil, das evtl. in nachantiker Zeit umgestaltet wurde, ein dem Hochwasserschutz der Hauptverteileranlage dienendes Funktionselement zu sehen.

Zur Anlage des Hauptverteilers gehören neben den eigentlichen Auslässen auch mehrere Flügelmauern, die sowohl kleinere Tosbecken eingrenzten als auch bei den Auslässen die unterwasserseitige Anbindung der Kanaldämme ermöglichten. An diesen in der Mehrzahl in Schichten mit verputzten Außenseiten (Schüttmauer mit Verputz) errichteten Flügelmauern sind deutliche Anzeichen für Erweiterungen und Erhöhungen erkennbar²³⁵. Beispielsweise müssen die zu Auslaß D gehörenden Flügelmauern („IXb“, „Xb“) als Kalkstein-Bauelemente mit Erhöhungen (Schüttmauern mit Verputz) betrachtet werden. Besonders diese Konstellation stellt einen deutlichen Hinweis dar auf einen sedimentationsbedingten Umbau, wie er an zahlreichen Bauwerken im Bewässerungssystem zu beobachten ist. Die durch die Erhöhung der Kanalniveaus bedingte Verringerung der Wasserspiegeldifferenz zwischen Hauptverteiler und Kanal erforderte derartige Anpassungen der Bauwerke, die auch an den Fronten anderer Flügelmauern zu beobachten sind. Dadurch ist belegt, daß Erhöhungen am Hauptverteiler in größeren Zeitabständen durchgeführt wurden als auf den Bewässerungsflächen. An mehreren Flügelmauern sind zudem Anbauten und Ergänzungen erkennbar, die als Reaktion auf Erhöhungen im Kanalsystem erstellt wurden. Als Beispiel sei die Mauer „XIIId“ genannt, die in 3 Einzelabschnitten zerlegt werden muß, die in zeitlicher Folge erstellt worden sind. Dies ergibt sich aus Unterschieden in Baumaterial und -qualität und der Art der gegenseitigen Anbindung.

Erwähnenswert ist auch die Situation an der Flügelmauer „XIIc, d, e“, die nach einer eingehenden Felduntersuchung eine interessante Baugeschichte erkennen ließ. Abweichend von einer einfachen dreiteiligen Aufgliederung weist die Mauer die in Abb. 57 dargestellte Außenansicht auf. In dem Teil „XIIId“ ist an der Mauer eine Ausbesserung erkennbar. Die Trennfuge zwischen „c“ und „d“ setzt sich im Untergrund nicht fort, da diese Mauerteile auf eine gemeinsame darunterliegende Schicht aufgebaut sind; der Bau besaß also bereits ursprünglich diese Länge. Bei (*) handelt es sich um einen deutlichen Riß, der mit einer Änderung der Putzqualität einhergeht. Bei (**) ist eine weitere, senkrechte

234 ebd., 16f.

235 Diese baulichen Hinweise werden von Mathieu nicht immer ausreichend berücksichtigt, vgl. ebd., 4ff.

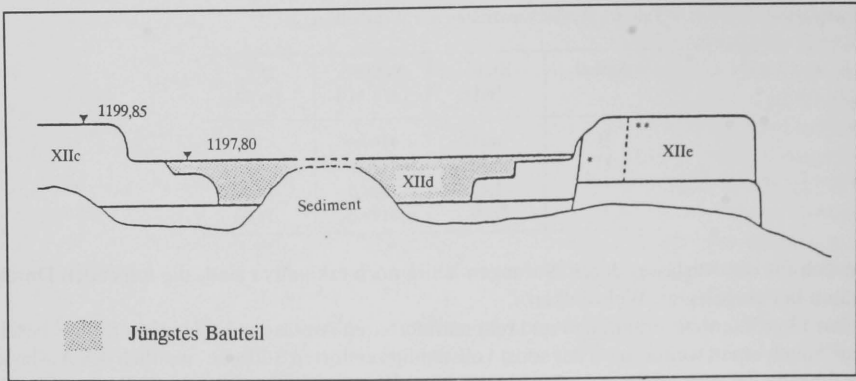


Abb. 57. Flügelmauer an Auslaß E des Hauptverteilers (schematische Ansicht von Osten).

Linie zu beobachten, die möglicherweise auf ein früheres Mauerwerk hinweist. Der Einbau der oberen Schicht im Mittelbereich belegt klar, daß diese als letzte Baumaßnahme errichtet wurde. Die Ansicht dieser Mauer im letzten (heutigen) und vorletzten (vor Bau der oberen Schicht im Mittelbereich) Zustand erinnert an ein Überlaufbauwerk und ist vergleichbar den gegliederten Maueroberflächen bei „al-Mabnā“. Dieser Eindruck wird besonders durch das hochgeführte Mauerende unterstützt, dieses Detail kann anders kaum erklärt werden, wenn nicht mit einem Überlauf aus einem hinter Auslaß E liegenden Tosbecken²³⁶. Diese Deutung kann allerdings nur für den vorletzten Bauzustand gelten, da die gleichfalls Auslaß E zuzuordnende Flügelmauer „XIII“ eine größte Höhe von etwa 1197,60 m ü.M. besitzt. Auffällig ist auch, daß der von Auslaß E abzweigende Kanal offensichtlich ein geringeres Wasserspiegelniveau als die benachbarten Kanäle besaß, was durch die relativ niedrig liegenden Oberseiten der Flügelmauern vorgegeben ist. Es ist anzunehmen, daß die von diesem Kanal versorgten Kulturf Flächen auf einer niedrigeren Terrassenstufe lagen.

Aus der Anordnung der Flügelmauern ist zu erkennen, daß z. T. mehrere Auslässe jeweils einen Kanal gemeinsam mit Wasser versorgten; dies ist bei H und I sowie bei K und L ganz offensichtlich der Fall. Der Anlaß zu diesem Konstruktionsmerkmal ist in den dadurch vereinfachten Regulierungsmöglichkeiten während des Betriebes zu sehen. Aufgrund von Anforderungen, die sich aus der Rekonstruktion des zuletzt betriebenen Kanalnetzes ergeben, muß von der Zusammenfassung noch weiterer Auslässe zur Versorgung gemeinsamer Kanäle ausgegangen werden.

Für den letzten Betriebszustand sind die sich stark unterscheidenden Auslaßbreiten sowie die Maximalkapazitäten (ohne Berücksichtigung einer Regulierung durch Wehre) in der Tabelle 7 enthalten. Dabei werden eine Sedimenthöhe im Sohlbereich der Auslässe von 1197,00 m ü.M. und ein Wasserspiegelniveau im Hauptverteiler von 1199,50 m ü.M. angenommen. Als Zielsetzung wird die Ermittlung von Maximalkapazitäten angestrebt, so daß die Berechnung auf der Grundlage des nicht unterwasserbeeinflussten Abflusses (freier Überfall) möglich ist. Eine Verringerung dieser ermittelten Durchflußkapazitäten durch den anschließenden Kanal ist i.d.R. anzunehmen.

²³⁶ Seitliche Überfälle zur Regulierung am Kanalbeginn führt Serjeant aus Hadramaut auf, vgl. Serjeant, Irrigation Systems, 43, Fig. 2.

Die hydraulische Kennlinie für die Gesamtanlage „Hauptverteiler“, also für die Summe der 13 Auslässe, wurde ebenfalls auf der Grundlage des nicht unterwasserbeeinflussten Abflusses aufgestellt (s. Abb. 58). Ohne Regulierung der Auslässe und ohne Beeinflussung der hydraulischen Abläufe im Hauptverteiler wurde bereits bei einer Wassertiefe in den Auslässen von etwa 2,2 m der maximal vom Nordbau eintreffende Zufluß ($Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$) vollständig auf die Kanäle verteilt. Dabei ist zu beachten, daß die während des Betriebes tatsächlich erzielbaren Abflüsse geringer waren, da sie durch Einflüsse aus den kanalabwärts liegenden Bereichen eingeschränkt wurden.

Auch die Übersicht über die proportionale Verteilung eintreffender Zuflüsse (Tab. 8) unterschiedlicher Größe wurde mit der Annahme einer identischen Sedimenthöhe in allen Auslässen aufgestellt. Die Tabelle zeigt deutlich, daß vor allem bei geringen Zuflüssen ein zweckmäßiger Betrieb erst durch

Tab. 7 Kennwerte der Auslässe am Hauptverteiler.

Auslaß	Breite [m]	$Q_{\max} [\text{m}^3/\text{s}]$
A	0,78	4,5
B	1,45	8,5
C	1,30	7,6
D	2,20	12,8
E	2,42	14,1
F	3,09	18,0
G	2,10	12,2
H	2,29	13,4
I	2,00	11,7
J	2,36	13,8
K	2,34	13,6
L	1,70	9,9
M	2,70	15,7
Σ		155,8

Tab. 8 Abflußverteilung im Hauptverteiler bei verschiedenen Zuflüssen.

Auslaß	Gesamtzufluß [m^3/s]					
	20	40	60	80	100	200
A	0,6	1,2	1,8	2,3	2,9	3,5
B	1,1	2,2	3,3	4,3	5,5	6,5
C	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
D	1,6	3,3	4,9	6,6	8,2	9,9
E	1,8	3,6	5,4	7,3	9,1	10,9
F	2,3	4,6	6,9	9,2	11,6	13,9
G	1,6	3,1	4,7	6,3	7,9	9,4
H	1,7	3,4	5,1	6,9	8,6	10,3
I	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
J	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
K	1,8	3,5	5,3	7,0	8,8	10,5
L	1,3	2,6	3,0	5,1	6,4	7,7
M	2,1	4,1	6,2	8,2	10,3	12,3

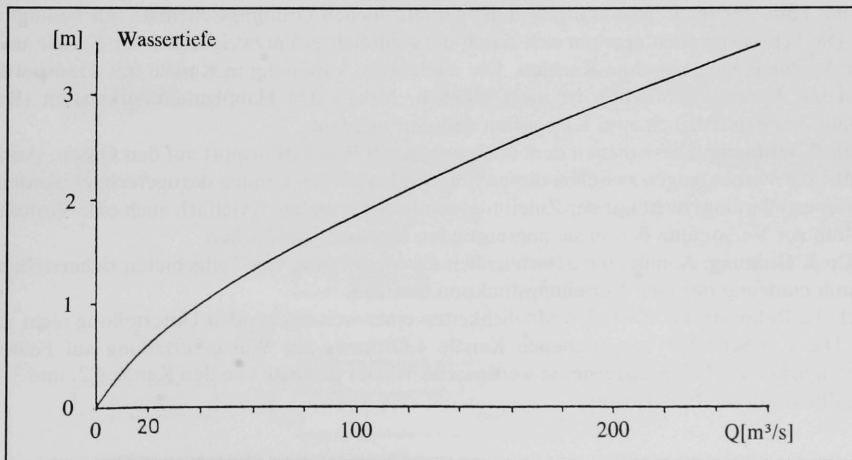


Abb. 58. Kennlinie der Summe der Auslässe des Hauptverters.

die Regulierung der Auslässe möglich wurde. Außerdem stellt die Regulierungsmöglichkeit eine sinnvolle Ergänzung bei der betrieblichen Zusammenfassung mehrerer Auslässe zur Versorgung eines Kanals dar.

6.3 ELEMENTE DER BEWÄSSERUNGSNETZE

Die auf den antiken Oasen vorgefundenen bewässerungstechnischen Systemelemente können nach unterschiedlichen Ordnungskriterien untergliedert werden. Die möglichen Einteilungen sind in Abb. 59 dargestellt. In Anlehnung an dieses Schema sind die Bauwerke und Anlagen im folgenden beschrieben.

6.3.1 Linienhafte Elemente

Kanäle

Die Identifizierung antiker Bewässerungskanäle an der Geländeoberfläche war an zahlreichen Stellen möglich. Überreste der Kanalwälle waren nur äußerst selten erhalten, so daß vor allem Kanalsedimente aus dem ehemaligen Sohlbereich brauchbare Indizien für den antiken Verlauf geben konnten. In den Teilbereichen der Oase, die nur in geringem Maße der Erosion ausgesetzt waren, können die Kanäle mit hinreichender Genauigkeit auf einem großmaßstäblichen Luftbild lokalisiert werden. In den Bereichen mit tiefer wirkender Erosion, also hauptsächlich in den randlich gelegenen Gebieten, ist eine Identifizierung ausschließlich durch Ortsbegehung möglich. Die Problematik der Erkennbarkeit antiker Bewässerungskanäle im Luftbild und im Gelände ist von Brunner²³⁷ erschöpfend behandelt worden; das wichtige Phänomen der Reliefumkehr durch äolische Erosion ist dort ausführlich geschildert. Aufgrund des Gesamteindrucks vergleichbarer antiker Bewässerungsgebiete wurde von Bowen²³⁸ dafür der Begriff „rectangular erosion“ geprägt. Die Zuordnung von Kanälen zu bestimmten Bauwerken ist oft problematisch, da durch den äolischen Abtrag in der Mehrzahl Überreste von Kanälen freigelegt sind, die wesentlich älteren Betriebszeiten als denen der in situ befindlichen Bauwerke zuzuordnen sind.

Bei der Rekonstruktion des Bewässerungsnetzes hat es sich herausgestellt, daß eine Gliederung der Kanäle mit Hilfe der für Bewässerungssysteme gebräuchlichen Ordnungsschemata nur bedingt möglich ist. Die Schwierigkeiten ergeben sich durch die zahlreichen Verzweigungen der Kanäle und die häufigen Verbindungen zwischen Kanälen. Die eindeutige Aufteilung in Kanäle mit Transportfunktion und mit Verteilungsfunktion ist nicht möglich. Neben den Hauptzuleitungskanälen (Kanäle 1.Ordnung) können lediglich zwei Kategorien definiert werden:

- **Kanäle 2. Ordnung:** Diese dienen dem übergeordneten Wassertransport auf den Oasen. Auch die Kanäle, die Verbindungen zwischen diesen Magistralen bilden, können dazugerechnet werden. Sie alle dienen allerdings nicht nur der Zuleitung, sondern übernehmen vielfach auch eine Verteilungsfunktion zur Versorgung der an sie angrenzenden Bewässerungsflächen.
- **Kanäle 3. Ordnung:** Kanäle, die ausschließlich die Versorgung von Teilgebieten sicherstellen und dadurch eindeutig nur eine Verteilungsfunktion besitzen.

Durch die Rekonstruktion wurden Möglichkeiten einer weitergehenden Unterteilung nicht gefunden. Die von Schoch²³⁹ beschriebenen Kanäle 4.Ordnung zur Wasserverteilung auf Feldebene konnten in keinem Fall nachgewiesen werden; das Wasser gelangte von den Kanälen 2. und 3. Ordnung direkt auf die Feldflächen.

237 vgl. Brunner, Erforschung, 34 ff.

238 vgl. Albright–Bowen, Discoveries, 74.

239 vgl. Schoch, Wasserbauten, 27 ff.

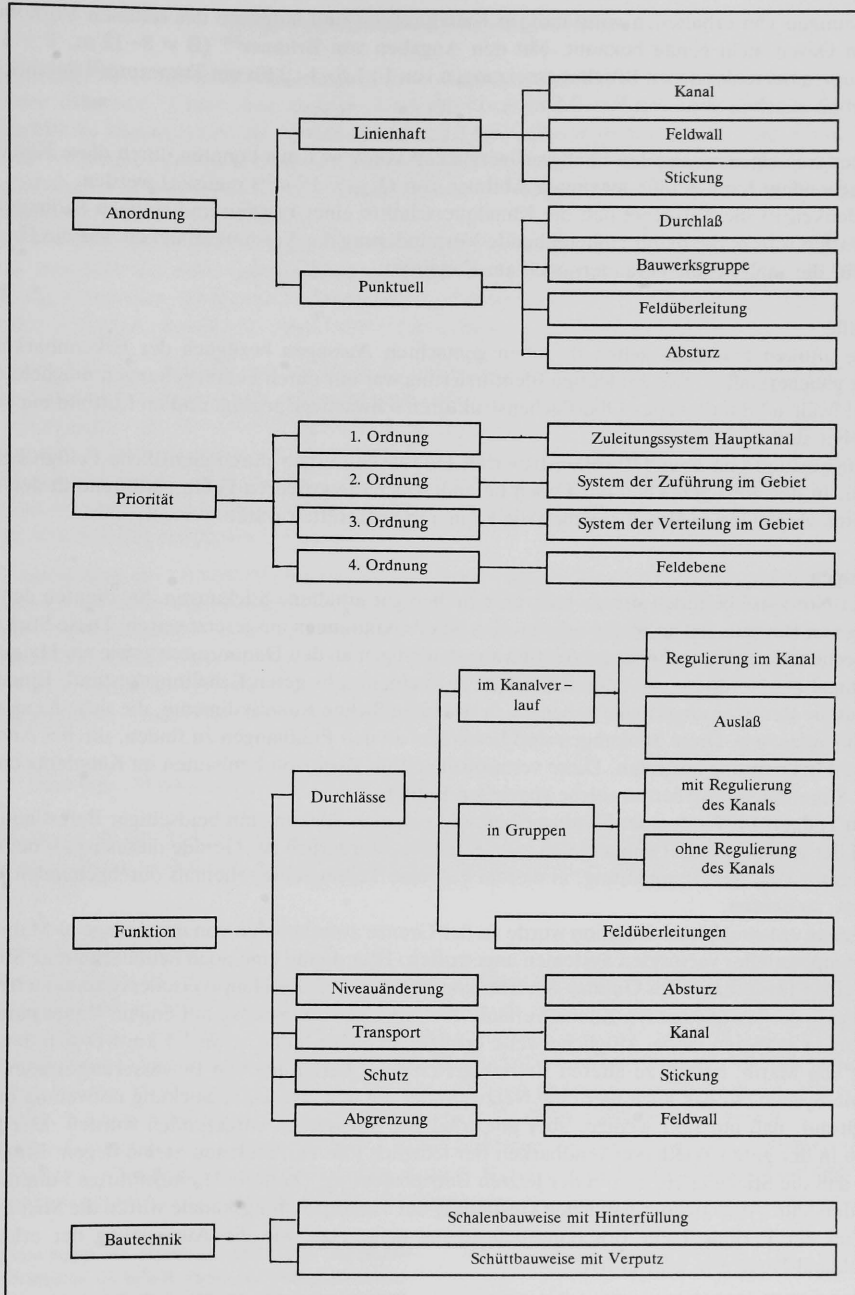


Abb. 59. Funktionselemente der Bewässerungsnetze.

Abmessungen von erhaltenen vollständigen Kanalprofilen sind aufgrund des seltenen Vorkommens auf den Oasen nicht genau bekannt. Mit den Angaben von Brunner²⁴⁰ ($B = 8\text{--}12\text{ m}$, $T = 1,5\text{ m}$) ergeben sich bei realistischen Böschungsneigungen von $1 : 1,5\text{--}1 : 2$ für ein Trapezprofil durchflossene Querschnittsflächen von etwa $F = 7,5\text{ m}^2 - 15\text{ m}^2$.

Bei einer zulässigen maximalen Fließgeschwindigkeit von $v = 1\text{ m/s}$ konnten durch diese Kanäle bei entsprechendem Längsgefälle maximale Abflüsse von $Q_{\max} = 15\text{ m}^3/\text{s}$ realisiert werden. Zu bedenken ist die Tatsache, daß die Kanalquerschnitte einer raschen und stetigen Sedimentation unterworfen waren; die damit einhergehende Verminderung der Leistungsfähigkeit war die Hauptsache für die zahlreichen Veränderungen am Kanalnetz.

Feldwälle

Für die antiken Feldwälle gelten die oben gemachten Aussagen bezüglich der Erkennbarkeit der Kanäle gleichermaßen. Die eindeutige Identifizierung war nur durch Feldbegehungen möglich, da die von Feldwällen hinterlassenen Oberflächenstrukturen schwach ausgeprägt und im Luftbild nur schwer erkennbar sind.

Die Auswertung von über 110 rekonstruierten Feldflächen ergab durchschnittliche Feldgrößen von $1\text{--}2\text{ ha}$. In den Kernbereichen der Oasen befanden sich die größeren Felder, während in den durch Terrassen zergliederten Randbereichen die kleineren anzutreffen waren.

Stickungen

Auf der Nordoase befinden sich an mehreren Stellen gut erhaltene Stickungen. Sie dienten der Befestigung von Böschungen an Stellen, die großen Schubspannungen ausgesetzt waren. Diese Stickungen entsprechen in der bautechnischen Ausführung denjenigen an den Dammresten sowie am Hauptzuleitungskanal zur Nordoase, sie befinden sich z. T. in einem sehr guten Erhaltungszustand. Einen Hinweis auf die Bewässerungskanäle geben die in situ befindlichen Kanalsedimente, die sich an einer Stickung hinaufziehen. Diese Stickungen sind besonders an den Prallhängen zu finden, die bei Änderungen der Fließrichtung auftreten. Diese vermutlich erst im Zuge von Umbauten im Kanalnetz entstandenen Situationen erforderten solche speziellen Bauten.

In dem Teilnetz im Westen der Nordoase befindet sich eine Stickung mit beidseitiger Befestigung, wie sie bei der gegenseitigen Trennung von zwei Kanälen erforderlich ist. Gerade dieses ist als deutliches Zeichen für eine Netzveränderung, in diesem Fall eine Teilung eines ehemals durchgehenden Kanalverlaufs, zu deuten.

Eine genau entsprechende Situation wurde an der Grenze zwischen den von der Anlage al-Mabnā und vom Hauptverteiler versorgten Systemen angetroffen. Hier diente eine noch heute erhaltene Stickung dazu, einen Hauptkanal des Ġufaina-Systems von einem Kanal des Hauptverteilersystems zu trennen. Die Trasse des letztgenannten Kanals verläuft über eine gewisse Strecke auf engem Raum parallel in einer etwas größeren Höhe. Möglicherweise erfolgte an dieser Stelle, etwa $1,5\text{ km}$ westlich der Stadtmauer von Mārib, bereits zu älteren Betriebszeiten die Überleitung von Bewässerungswasser in das Ġufaina-System, so daß auch hier eine Netzveränderung den Bau einer Stickung notwendig machte. Es fällt auf, daß nur sehr wenige, aber gut erhaltene Stickungen vorgefunden wurden. Der Grund könnte in der guten Wiederverwendbarkeit der lediglich lose verbundenen Steine liegen. Möglich ist auch, daß die Stickung ein erst in der letzten Betriebsperiode (Periode I) eingeführtes Funktionselement darstellt. Auch bei der baulichen Gestaltung der Hauptzuleitungskanäle wurde die Stickung erst während der Periode I zur Böschungsbefestigung eingesetzt, wie die Auswertung der erhaltenen Hauptkanal-Überreste gezeigt hat.

240 vgl. Brunner, Erforschung, 38.

6.3.2 Punktelemente (Durchlaßbauwerke)

Die Bauwerke des antiken Bewässerungssystems werden im Hinblick auf ihre ursprüngliche Funktionsweise eingeteilt. Unter dem Begriff „Durchlaß“ werden Bauwerke zusammengefaßt, die als Regulierbau im Kanalverlauf, als Auslaß von einem Kanal höherer Ordnung in Kanäle niedriger Ordnung, zur Ableitung aus einem Kanal auf die Feldfläche sowie zur Überleitung zwischen zwei Feldern dienen können. Als Sonderfall werden Absturzbauwerke angesprochen, die die Überwindung größerer Höhenunterschiede ermöglichen.

Diese in der Mehrzahl steuerbaren Bauwerke waren in sehr großer Anzahl auf den antiken Oasen vorhanden. Innerhalb des näher untersuchten westlichen Teilgebietes der Nordoase (Größe des Gebietes ca. 750 ha) waren zum Zeitpunkt der Untersuchung Hinweise auf etwa 750 punktuelle Bewässerungsbauwerke zu finden, so daß von einer Dichte von 1 Bauwerk/ha ausgegangen werden kann.

Der Funktionstypus „Brücke“ wird nicht in die Auflistung übernommen, da nur unzureichende Indizien im Rahmen der Feldarbeiten vorgefunden wurden. Die Existenz von speziellen Brücken, Stegen oder Übergängen ist eher unwahrscheinlich, da das Überschreiten in Verbindung mit einem den Gewässerquerschnitt einengenden Durchlaßbauwerk einfach zu realisieren war. Möglicherweise wurden derartige Bauwerke im Zuge wichtiger Straßenverbindungen (z. B. Märīb – Širwāh²⁴¹) errichtet. Aufgrund der notwendigen Pfeiler war damit stets auch eine Beeinflussung der hydraulischen Verhältnisse in dem betroffenen Kanal verbunden.

Eine Unterteilung der Durchlaßbauwerke nach bautechnischen Kriterien in drei eigenständige Gruppen hat sich als nicht erforderlich herausgestellt. Schoch²⁴² führt neben den auch hier verwendeten Gruppen „Schalenmauer“ und „Schüttmauer“ noch eine „kombinierte Bauform“ ein, welche für Durchlässe verwendet wird, die in abweichender Bautechnik und Material erweitert und/oder erhöht worden sind. Derart erstellte Objekte können den beiden anderen Gruppen zugeordnet werden, da die ursprüngliche Technik immer zu erkennen ist.

6.3.2.1 Bauweise „Schalenmauer mit Hinterfüllung“

Die Bauwerke dieses Typs bestehen aus zwei gleichartigen, einander gegenüberliegenden und i.d.R. nicht verbundenen Aufbauten, die aus hinterfüllten Schalenmauern erstellt worden sind (als Beispiel s. Tafel 16 b).

Baumaterial und -technik

Als Baumaterialien sind bei den Bauten der letzten Betriebsperiode behauene Quader aus Kalkstein, meist bossiert oder scheinbossiert (z. T. mit Inschriften), zu verzeichnen, die sich in zweiter Verwendung (sog. Spolien) befinden. Lediglich bei einigen wenigen Bauwerken aus früheren Betriebsperioden, welche in tief eingeschnittenen Rinnen durch die fluviale Erosion freigelegt wurden, ist klar festzustellen, daß die Steine, hier meist auch das bei größeren Bauten (z. B. Siedlungen, Heiligtümer) verwendete Konglomeratgestein, ursprünglich für diese Bauwerke angefertigt wurden.

Die Aufbauten wurden aus Quadersteinen – meist paßgenau aufeinandergesetzt – errichtet, wobei einzelne Steine als Querbinder zur Versteifung dienten. In die so entstandenen Kammern brachte man Bruchgestein ein, wobei Lava und Kalkstein in variierenden Mischungsverhältnissen vorzufinden sind.

241 Diese Straße war bereits seit 390 v. Chr. von großer Wichtigkeit, da Širwāh wegen der strategisch nahezu ungeschützten Stellung Märīb eine Ausweichfunktion ausübte. Vgl. v. Wissmann, Großreich, 346 ff.

242 vgl. Schoch, Wasserbauten, 31.

Diese Bruchsteinfüllung ist aufgefüllt mit verfestigtem, sandigem Material, welches entweder durch die offene Decke des Aufbau-Pfeilers eingetragen oder durch die unverfugte Außenwand eingeschwenkt wurde.

Die Sohlen der Durchlässe sind in der Regel unbefestigt. Auch intensives Suchen in den Kanalsedimenten innerhalb der Bauwerksbereiche ließ keine befestigte Schwelle o.ä. zutage treten. Lediglich bei sehr seltenen Ausnahmen ist ursprünglich eine Schwelle eingebaut, teilweise in die die Innenseite des Durchlasses bildenden Mauern eingebunden. Da diese Schwelle zum Teil nur durch einen einzigen Kalksteinriegel gebildet wird, ist nicht auszuschließen, daß derartige Bauteile auch bei den stark einseementierten Bauwerken vorhanden sind; gerade bei diesen Schalenmauern wurden nur die Aufbauten periodisch erhöht, während die Durchlaßsohle dann aus eingeschwenktem Sediment bestand. Die zum Auffinden evtl. noch vorhandener ursprünglicher Schwellen erforderliche, aufwendige Suche war wegen der Kürze der Feldaufenthalte und der Vielzahl von Bauwerken dieses Typs nicht durchführbar. Die Meinung²⁴³, daß Schwellen bei diesem Bautypus häufig zu finden sind, hat sich allerdings nach der Untersuchung einer großen Anzahl von Bauwerken als unzutreffend herausgestellt.

Auch eine definitive Begrenzung des durchflossenen Querschnittes nach oben, also eine Definition des antiken Wasserspiegels, ist meist nicht möglich. Entweder sind die Durchlässe aus Schalenmauern, wie in der Mehrzahl der Fälle, aufgrund des sehr schlechten Zustandes nur im Grundriß oder in Form der unteren Mauerschicht erhalten, oder das evtl. noch vorzufindende aufstrebende Mauerwerk beinhaltet später aufgebrachte, der Erhöhung des Bauwerks dienende Steinlagen, welche wegen der durchgehenden Spolien-Technik nicht vom ursprünglichen Bau separiert werden können. Ein brauchbarer Anhaltspunkt für die ehemalige, maximale Bauwerksoberkante wird durch die mehrfach in relativ gutem Zustand befindlichen später erstellten Anbauten in Schichtbauweise gegeben. Der realisierbare Höchstwasserstand im Durchlaßbauwerk kann dadurch in einem engen Bereich festgelegt werden.

An den Bauwerken sind Vorrichtungen anzutreffen, die zum Regulieren des Abflusses oder Verschließen des Durchlasses dienen können. Es kann sich dabei um korrespondierende Nutungen an beiden Bauwerksteilen handeln, die sich bei einem Teil der Bauwerke über die gesamte Aufbauhöhe erstrecken. Häufig sind auch symmetrische Aussparungen im oberen Drittel des Aufbaus anzutreffen, in die wohl einzelne Balken oder Riegel eingelegt werden können. Ob damit ein völliger Verschluß des Bauwerks z. B. durch eine senkrechte Verbräuerung möglich war, ist fraglich. In Einzelfällen sind Aussparungen in Verbindung mit Abarbeitungen derart aufzufinden, daß sie den Vorgang des Einlegens direkt deutlich werden lassen.

Aufgrund der starken Beschädigungen, die gerade bei diesem Bauwerkstyp fast überall vorkommen, ist eine definitive Aussage über eventuelle Verschluß- oder Reguliereinrichtungen im Einzelfall selten möglich.

Da die Schalenmauern ursprünglich keine Verbindung oder Befestigung der Baubestandteile (z. B. Mörtel, Bleizapfen) aufweisen, wurden schon während der antiken Betriebszeit häufig Ausbesserungen notwendig. Daher ist bei den meisten Bauwerken dieses Typs eine Verfugung mit dem auch an anderen Bauten verwendeten Mörtel, der weitgehend dem „opus caementitium“ der Römer entspricht, festzustellen. Oft sind die Wände insgesamt mit Mörtel verputzt. Auch die Eintiefungen für die Regulierung sind teilweise mit Mörtel verschlossen. Oftmals wurden ganze Bauwerkspartien ausgebessert oder mit neuen Steinen versehen, was als Hinweise auf größere Beschädigungen während der antiken Betriebszeit zu verstehen ist.

Es handelt sich bei der Bauweise der Schalenmauern unter vorwiegender Verwendung von Kalkquadern um eine ältere Technik. Sie scheint in direkter Tradition zu den optisch und funktionell ähnlichen Durchlaßbauwerken zu stehen, von welchen während der Felduntersuchungen einige durch Erosionsrinnen freigelegte aufgefunden werden konnten. Diese Bautechnik wurde allerdings nicht vollständig

243 ebd., 31.

durch die später aufgekommene Massivbauweise abgelöst, sondern wurde wegen praktischer Vorteile bei großen Durchlaßquerschnitten und der Möglichkeit einer problemlosen Bauwerkserhöhung bis zur Aufgabe der Bewässerungssysteme weiter verwendet.

Erhöhungen und Erweiterungen

Die starke Sedimentation auf den antiken Oasen machte stetige oder schrittweise Erhöhungen des Wasserspiegels erforderlich. Dies bedingte immer wieder Anpassungen sämtlicher Bewässerungsanlagen, d. h. sowohl der Kanäle und Feldwälle als auch aller betroffenen Bauwerke.

Bei den Durchlässen mit Schalenmauern wurden zu diesem Zweck Erhöhungen der Aufbauten durchgeführt. An den wenigen nicht zerstörten Bauwerken ist zu erkennen, daß derartige Erhöhungen unter Verwendung aller zur Verfügung stehenden Baumaterialien ausgeführt wurden. Erhöhungen, die in der ursprünglichen Mauertechnik ausgeführt wurden, sind heute kaum nachzuvollziehen.

Bei Erhöhungen in Form von Schalenmauern hing der Betrag des erzielbaren Höhengewinns von der Höhe der verwendeten Spolien (i. d. R. ca. 0,2 m) ab. Oft wurden Aufbauten als Schüttmauern erstellt, was dann mit einer Verfügung und der Reparatur kleinerer Schäden einherging, so daß die Entwicklung dieser Bauwerke während ihrer letzten Betriebszeit deutlich nachvollziehbar ist.

An einigen Bauwerken sind nachträglich hinzugefügte Flügelmauern anzutreffen, welche der Konzentration des Wassers dienen und die anschließenden Böschungsbereiche vor der Strömung schützen sollten (s. Tafel 16 c). Derartige Anbauten wurden erst erforderlich, wenn ein Bauwerk dem erhöhten Niveau der Bewässerungsanlagen angepaßt worden war. Auch bei seitlichen Verschiebungen der Kanaltrasse waren Flügelmauern notwendig, um noch bestehende, funktionsfähige Durchlässe weiter betreiben zu können.

6.3.2.2 Bauweise „Schüttmauer mit Verputz“

Die Bauwerke, die am häufigsten auf der Oasenoberfläche anzutreffen sind, sind die Durchlässe aus Schüttmauern mit Verputz. Diese Bezeichnung ist für Bauwerke gewählt worden, die aus lose angehäuftem Material in Verbindung mit Verputz erstellt wurden. Die Erstellung der Bauten erfolgte schichtweise, was ihnen bis heute ein charakteristisches Aussehen verleiht.

Baumaterial und Technik

Für die aus Schüttmauern mit Verputz erstellten bewässerungstechnischen Bauwerke wurden Lavageröll, Kalkbruchsteine, aber auch Spolien und Teile abgebrochener Bauwerke verwendet. Diese verschiedenen Materialien wurden nicht nur einzeln benutzt, häufig sind Materialkombinationen anzutreffen. Die jeweiligen Anteile von Lava und Kalkstein sind regional sehr unterschiedlich, wobei die Nähe zum natürlichen Herkunftsort der Materialien entscheidend ist (Kalk aus dem Ġabal Balaq al-Awsat, Lava vom Diš). In Einzelfällen wurden auch größere, sauber bearbeitete Spolien mitverwendet.

Bauwerke aus Schüttmauern sind an der gesamten Oberfläche verputzt. Das Putzmaterial besteht aus Lavagrus, der mit Kalk gebunden ist. Die Haltbarkeit hängt von Anteil und Körnung der Lava ab. In der Regel sind diejenigen Bauwerke gut bis in die heutige Zeit erhalten, welche mit Mörtel aus wenig Lavagrus und/oder kleinen Lavabestandteilen versehen sind. Hat sich Putz in Teilen oder flächenhaft vom Bauwerk gelöst, zieht dieses den raschen, weiteren Verfall der Bauwerke nach sich. Wie bereits erwähnt, ist dieses Material dem sog. „opus caementitium“ vergleichbar, welches zu derselben Zeit im antiken Rom ein sehr häufig verwendeter Baustoff war. Das Material wurde nur während der letzten Betriebsperiode I eingesetzt, so daß auch Durchlässe dieser Kategorie nur in den oberen Schichten bzw. an der Oberfläche vorzufinden sind. Auf den Bewässerungsflächen der Südoase, die bereits zu einem relativ frühen Zeitpunkt (Periode II) stillgelegt wurden, sind also Bauwerke in dieser Technik

nicht anzutreffen. Zu beachten ist, daß im Laufe der Zeit die Qualität der eingesetzten Putzmischungen stetig schlechter wurde und auch die Verarbeitung immer mehr zu wünschen übrig ließ. Die Durchlässe aus Schüttmauern bestehen aus mehreren Bauteilen. Meist sind ein pultartiger Unterbau in Verbindung mit zwei aufgesetzten, pfeilerförmigen Teilen anzutreffen. Zur Verminderung der im Sohlbereich wirksamen Kräfte wurde fast immer eine Schwelle aus Kalkstein, meist eine Spolie, in den Querschnitt eingebaut. Ab einer gewissen Höhe der Bausegmente ist eine schichtweise Unterteilung derselben anzutreffen; diese ähnelt der heute in der Gegend von Märib noch gebräuchlichen Schichttechnik bei Lehmbauten.

Bei den Durchlässen dieses Typs sind häufig korrespondierende Nutungen oder Auskehlungen in beiden Aufbauten vorzufinden, wobei diese Vorrichtungen meist am oberen Abschluß des Aufbaus oder einer früheren Schicht liegen. Diese Nutungen sind über der o.g. Kalksteinschwelle angebracht, so daß ein totaler oder teilweiser Verschluß des Querschnittes durch das Einbringen von Balken o.ä., welche gegen die Schwelle und einen in die Nutungen eingelegten Balken gestellt wurden, realisierbar war.

Erhöhungen und Erweiterungen

Der mit diesen Bauwerksveränderungen erzielte Höhengewinn nimmt Beträge zwischen 0,3 m und 0,8 m an, so daß auf diese Weise die kleineren Entwicklungsphasen innerhalb der definierten Betriebsperioden auf der antiken Oasenfläche dokumentiert werden. Bei den Durchlaßbauwerken aus Schüttmauern war im Gegensatz zu denen aus Schalenmauern eine Anpassung an ein erhöhtes Fließniveau nur in begrenztem Rahmen möglich, da aus konstruktiven Gründen eine Verjüngung der pfeilerförmigen Aufbauten notwendig war. Bei einer Erhöhung des Wasserspiegels im Bewässerungsnetz wurden auf die Aufbauten neue Schichten gesetzt. Um dabei den Querschnitt gleich zu erhalten, war zusätzlich die Einfügung einer erhöhenden Schicht zwischen den Pfeilern nötig. Meist wurde dabei eine neue Schwelle (Spolie) mit eingesetzt. Diese Art der Bauwerkserhöhung wurde oft zweimal durchgeführt, selten drei- oder mehrfach. Weiteren Erhöhungen standen die erwähnten statischen Gründe entgegen.

Aufgrund verschiedener Hinweise ist anzunehmen, daß in der Bauweise der Schüttmauern erstellte Bauwerke nach Ablauf ihrer jeweiligen Betriebszeit vollständig zerlegt wurden, um die Baustoffe sodann in neue Bauwerke einbringen zu können. Diese Vorgehensweise ist als Grund dafür anzusehen, daß Durchlässe in dieser Technik nahezu ausschließlich aus den jüngsten Betriebsperioden aufgefunden werden können.

Auch bei den Wasserbauten in dieser Technik wurden aus den bereits bei den Bauwerken aus Schalenmauern genannten Gründen Flügelmauern angebaut. Deren Bauausführung ist mit der der Durchlässe identisch, auch die Erhöhungen, die sich in Schichten widerspiegeln, sind dabei zu bemerken.

6.3.3 Zweckbestimmung

Die Durchlaßbauwerke erfüllten innerhalb des Bewässerungsnetzes verschiedene Funktionen:

- a) Regulierbauwerke in Kanälen,
- b) Auslaßbauwerke,
- c) Feldüberläufe,
- d) Sonderform: Absturzbauwerke.

a) Regulierbauwerke in Kanälen

Die in den Kanälen vorhandenen Bauten sind wegen der großen Dimensionen i.d.R. mit Schalenmauern errichtet. Die Breiten der Durchlaßöffnungen betragen meist zwischen 2 m und 2,5 m, die Höhe der Durchlässe ist nicht immer festzustellen, da kaum Schwellen aufzufinden sind. Mit Hilfe der in situ

befindlichen Sedimentreste und der Schwellenhöhen gut erhaltener Bauwerke können maximale Durchlaßhöhen von 2 m (in Ausnahmefällen auch bis zu 2,5 m) angenommen werden. Die maximale Leistungsfähigkeit der Durchlässe in Kanälen betrug 10-12 m³/s (vgl. Tab. 9). Zu beachten ist, daß es sich aufgrund des verwendeten Rechenverfahrens (unbeeinflußter Überfall) um Maximalwerte handelt; der Abfluß wurde bei den Regulierbauwerken in Kanälen i.d.R. durch die Verhältnisse im Unterwasserbereich beeinflusst.

Tab. 9 Kapazitäten für Durchlaßbauwerke [m³/s] (Werte für unbeeinflußten Überfall).

Auslaßbreite [m]	Überfallhöhe [m]			
	0,5	1,0	1,5	2,0
0,5	0,3	0,7	1,4	2,1
1,0	0,5	1,5	2,7	4,2
1,5	0,8	2,2	4,1	6,3
2,0	1,0	3,0	5,4	8,3
2,5	1,3	3,7	6,8	10,4
3,0	1,6	4,4	8,1	12,5

Die gerade bei Bauten mit Schalenmauern vorhandenen Nutungen dienten dazu, Regulierelemente aufzunehmen. Diese Durchlässe konnten also in verschiedenen Öffnungszuständen betrieben werden, wobei eine Veränderung während des Betriebes aufgrund der geringen Durchflußmengen wohl möglich war. Die dadurch auch gegebene Möglichkeit, das Durchlaßbauwerk vollständig zu verschließen, war die notwendige Voraussetzung dafür, einen Kanal abschnittsweise zu betreiben bzw. die daran angeschlossenen Feldflächen nur abschnittsweise zu bewässern.

b) Auslaßbauwerke

Die Mehrzahl der Bauwerke in den Bewässerungsnetzen stellen die Auslaßbauwerke, die der Speisung von Kanälen niederer Ordnung oder der Versorgung von Feldflächen und/oder Siedlungen dienen. Sie sind im Verlauf der Kanalstrecken anzutreffen oder bilden Bauwerksgruppen, dann meist in Verbindung mit einem Regulierbauwerk.

Befestigte Auslaßbauwerke waren unbedingt notwendig, da einfache, unbefestigte Öffnungen in den Kanalwällen bei den in den Kanälen möglichen Wasserständen und Abflüssen schnell umfangreiche Beschädigungen zur Folge gehabt hätten. Außerdem stellen standfeste Bauwerke die Voraussetzung für eine wirksame Regulierung dar. Darauf weisen die Maueraussparungen im Durchflußbereich der Bauwerke hin, hier wurden wohl querliegende Balken eingebracht, so daß im Zusammenwirken mit den darunter befindlichen Sohlschwellen ein (völliger, evtl. auch zeitweiser) Verschluß möglich war. Eine planmäßige Feinregulierung war nicht möglich, allerdings bei den zur antiken Betriebszeit vermutlich gängigen Bewässerungsabläufen auch nicht notwendig.

Die Sohlschwellen dieser Auslaßbauten lagen in der Regel höher als die Sohle des Kanals. Sie standen erhöht in den Kanalwällen und konnten bei der in den Kanälen 2. und 3. Ordnung üblichen Betriebsform, dem abschnittweisen Einstau von Kanalabschnitten, problemlos ihre Funktion wahrnehmen. Der in Einzelfällen beträchtliche Höhenunterschied zwischen der Auslaßschwelle eines Feldauslasses und der Sohle des Kanals setzt eine derartige Betriebsform geradezu zwingend voraus, da die betreffenden Schwellen bei ungestörten Fließvorgängen im Kanal gar nicht vom Wasserspiegel erreicht wurden. Zu berücksichtigen ist dabei auch, daß der angesprochene ursprüngliche Höhenunterschied sich mit der sedimentbedingten, stetigen Erhöhung der Kanalsohle verringerte.

Es ist nicht möglich, die unterschiedlichen Höhenlagen der Bauwerke und ihrer Schwellen als Kenn-

zeichen ihrer Rangordnung²⁴⁴ mit entsprechend unterschiedlichen Zeitpunkten des Überströmens der Sohlschwellen anzusehen. Dabei regelt sich der Bewässerungsbetrieb im Sinne einer durchdachten Planung in Abhängigkeit vom Kanalwasserstand quasi automatisch. Diese Vorstellung kann aufgrund der Untersuchung der Beziehungen zwischen Auslaßbauwerken, Feldflächen und Kanälen hat sich als unrealistisch herausgestellt. Felder gleicher Größenordnung werden von hoch- und auch von tiefliegenden Auslässen versorgt.

Die unterschiedlichen Höhen von Auslaßbauwerken an demselben Kanal beruhen hauptsächlich auf verschiedenen Bauzeitpunkten, da ein neu zu bauender Auslaß jeweils relativ hoch im Kanalwall errichtet wurde, die relativ älteren jedoch noch möglichst lange in Betrieb waren; die Reaktion auf Sedimentationsvorgänge im Kanal bestand ja auch in der Erhöhung der Schwellen u. a. der Auslässe. Diese Ansicht wird weiterhin dadurch bestätigt, daß gerade die tiefer liegenden Bauwerke oftmals in der als älter einzustufenden Technik der Schalenmauern ausgeführt sind.

c) Feldüberläufe

An zahlreichen Feldern sind neben den der Aufleitung dienenden Bauwerken weitere zu finden, die der Überleitung in ein angrenzendes Feld oder einen Kanal dienten. Dadurch wurde bewirkt, daß Wasser, welches nach Erreichen der planmäßigen Überstauhöhe in die Felder einströmte, abgeleitet wurde und in dem nächsten Feld oder über einen Kanal wieder der Bewässerung zur Verfügung stand (vgl. Abb. 62).

Derartige Bauwerke, über die die Höhe des Feldeinstaus beeinflusst werden konnte, besaßen allerdings eine problematische Handhabung und eine verhältnismäßig kurze Nutzungsdauer. Im Gegensatz zu den Feldauslässen, die mit dem Effekt einer langen Nutzung relativ hoch über dem Feldniveau angelegt wurden, war die Funktion der Feldüberläufe direkt von der Sedimentation in den Bewässerungsbecken abhängig, da die Überstauhöhe sich stetig verringerte und Anpassungen des Überlaufbauwerkes erforderlich machte. In diesen Zusammenhängen ist möglicherweise der Grund dafür zu sehen, daß bei den Untersuchungen der Sedimente mehrfach ein Überströmen der unbefestigten Feldwälle festgestellt wurde; in diesen Fällen war wohl auf die Erhöhung der Überlaufbauten und der Feldwälle verzichtet und dieses Überströmen in Kauf genommen worden.

Als sehr wichtige weitere Funktion aller hier beschriebenen Bauwerksgrundtypen ist die Überwindung von Höhenunterschieden anzusehen. Die im Kanalverlauf befindlichen Regulierbauwerke verringerten das Fließgefälle und verhinderten so ungünstige große Fließgeschwindigkeiten und Erosionsschäden. Die besonders in den randlich gelegenen Bereichen übliche Terrassierung brachte regelmäßig geringe Höhenunterschiede zwischen Kanal und Feldfläche mit sich, die durch Auslaß- und Feldüberlaufbauten schadlos zu überbrücken waren.

Es kann allerdings auch nicht davon ausgegangen werden, daß die Durchlaßbauwerke grundsätzlich die Überwindung eines Niveauunterschiedes als ausschließliche Funktion besaßen²⁴⁵. Bei der Analyse der kontinuierlich fortschreitenden Oasenaufsedimentierung wird klar, daß die Herableitung von Bewässerungswasser in tiefere Niveaus des Kanalnetzes nicht der Regelfall gewesen sein kann. Allerdings waren Niveauunterschiede bei den Feldableitungsbauwerken i.d.R. erwünscht, um trotz der mit jeder Bewässerung fortschreitenden Aufsedimentierung der Feldflächen über einen längeren Zeitraum eine ausreichende Überstauhöhe zu ermöglichen.

Die sich durch die großräumige Terrassierung der Oasen ergebenden Höhenunterschiede wurden meist durch geschickte Trassenführung der Kanäle, welche durch das Einfügen von Kurven z. T. erheblich verlängerte Fließstrecken erhielten, ausgeglichen.

244 ebd., Tafel 18.

245 ebd., 33.

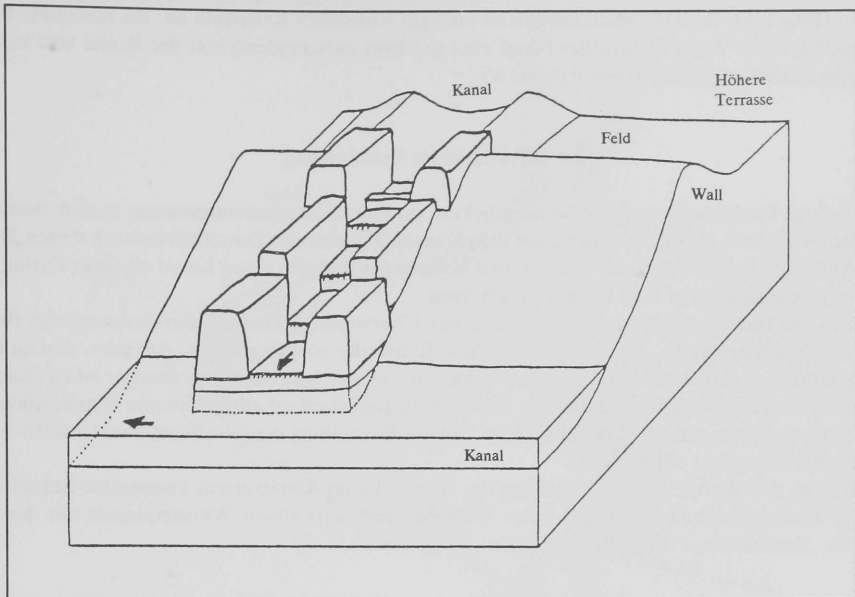


Abb. 60. Kaskadenbauwerk (schematisch).

d) Absturzbauwerke (Sonderform)

An einigen Stellen wurden zur Überwindung von größeren Höhendifferenzen spezielle Absturzbauwerke errichtet, einige sind bis in die heutige Zeit relativ gut erhalten.

Vorgefunden wurden an besonders ausgeprägten Terrassenrändern Bauten, bei denen durch die Folge kleiner Absturzstufen Kaskaden ausgebildet werden. Es ist zu vermuten, daß derartige Bauwerke oftmals aus älteren Auslässen hervorgegangen sind, im Zuge der Systemerhöhung wurde der jeweils obere Teil hinzugefügt (s. Abb. 60 und Tafel 17 c). Auf größere Niveauunterschiede deuten auch stufenartige Anbauten hin, die bei einigen Durchlässen auf der Unterwasserseite zu finden sind. Auch diese (fast immer sekundären) Anbauten sollten die Kräfte des abstürzenden Wassers verringern.

6.4 FUNKTIONALE ZUSAMMENHÄNGE

Zur Betrachtung der funktionalen Zusammenhänge des Bewässerungssystems müssen die Elemente des Netzes funktionsbezogen analysiert werden. Für die Ermittlung der hydraulischen Kenndaten ist die Stellung der Bauwerke im Netz und damit ihre Zuordnung zueinander entscheidend.

Eine Untergliederung der Kanalsysteme bzw. der Bauwerke in Ordnungsstufen, wie sie auch von Schoch²⁴⁶ vorgenommen worden ist, kann erst nach abgeschlossener Aufgliederung des Kanalnetzes erfolgen. Die Priorität eines Bauwerks im System hängt direkt mit seiner Funktion zusammen. Schoch

sieht die Höhe ü.M. der Durchlaßschwelle als einziges wirksames Kriterium an; die maximale Durchflußkapazität eines Wasserbauwerkes hängt aber genauso entscheidend von der Breite und von dem im System höchstmöglichen Wasserspiegel ab.

6.4.1 Auslässe im Kanalverlauf

Ergibt sich im Funktionssystem die Notwendigkeit, punktuell Bewässerungswasser in eine bestimmte Richtung abzuleiten, erfüllt ein separat auf dem Kanalwall stehendes Durchlaßbauwerk diesen Zweck. Diese Ableitung kann sowohl aus einem Kanal höherer Ordnung in einen Kanal niederer Ordnung als auch aus einem Kanal auf eine Feldfläche erfolgen.

Ein derartiges Bauwerk muß nicht gleichzeitig der Überwindung eines Höhenunterschiedes dienen. Neben der Regulierung des Abflusses haben diese Bauwerke vordringlich die Aufgabe, den an dieser Stelle gefährdeten Kanalwall vor Erosion zu schützen. Bei der hydraulischen Analyse ist zu beachten, daß der für die Kapazitätsberechnung der Auslässe im Kanalverlauf entscheidende Wasserspiegel bei einer Steuerung abgegrenzter Kanalabschnitte von der Einstellung des jeweiligen kanalabwärts liegenden Regulierbauwerkes abhängig ist.

Der jeweilige Abfluß bei dieser Anordnung der Bauwerke im Kanalverlauf kann unter Berücksichtigung der Bauwerksdimensionen und unter Vorgabe eines wirksamen Wasserspiegels mit der Gleichung für „Streichwehre“ berechnet werden.

6.4.2 Bauwerksgruppen

Die Mehrzahl der Bauwerke im Bewässerungssystem von Märib steht funktionell innerhalb von Bauwerksgruppen im Zusammenhang (vgl. z. B. Abb. 61); durch einen gemeinsamen Wasserspiegel sind die Bauwerke einer jeweiligen Gruppe direkt voneinander abhängig.

Im Rahmen derartiger Gruppen können Auslaßbauten verschiedener Bestimmung und Priorität kombiniert sein. In größeren Gruppen ist die sichere Deutung der Funktion nur selten möglich. Neben einer großräumigen Betrachtung der Umgebung ist besonders die Analyse der Oberflächenformen hilfreich.

Die Bestimmung des funktionalen Zusammenhangs von Bauwerksgruppen ist allein durch die Auswertung auch großmaßstäblicher Luftbilder nicht durchführbar. Verwertbare Reste von Kanaldämmen oder Feldwällen innerhalb von Bauwerksgruppen sind in der Örtlichkeit meist nur noch rudimentär in Form kleinster Ansätze vorhanden, welche in dem vorhandenen Luftbildmaterial selbst bei starker Vergrößerung nicht identifiziert werden können.

Ein weiteres Problem stellt die sichere Zuordnung der sichtbaren Strukturen zu benachbarten Wasserbauwerken dar. Besonders in Gebieten mit starker äolischer Erosion befinden sich die Bauten auf wesentlich höherem Niveau als ihre direkte Umgebung, so daß eine funktionelle Verbindung der Kanal- und Feldwallreste mit diesen Bauwerken oft nicht eindeutig darstellbar ist. Diese Kanal- und Feldwälle können durchaus zu Bauwerken der vorhergehenden Betriebsperiode gehören, wobei mit der Erhöhung des Systems einhergegangene Lageverschiebungen und Funktionsänderungen möglich sind. Die bereits von Brunner²⁴⁷ beschriebene seitliche Verschiebung der Kanäle bei der Erhöhung erklärt die besonders im Luftbild zu erkennende seitlich verlagerte Anordnung von Kanalstrukturen

247 vgl. Brunner, Erforschung, 38.

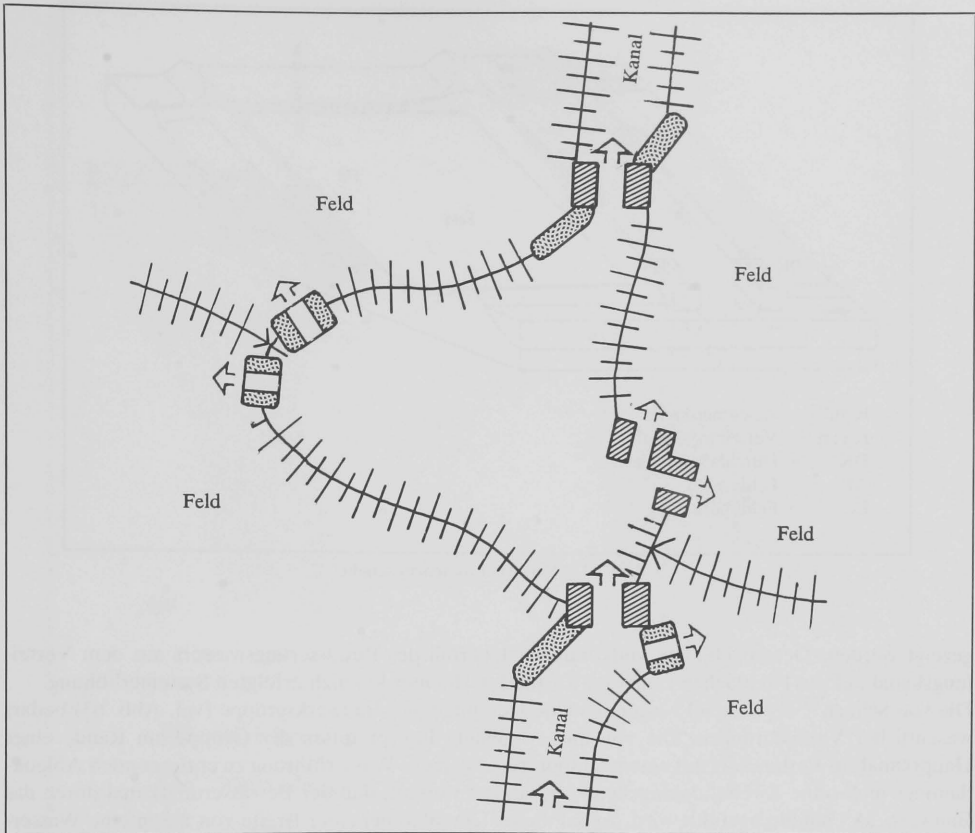


Abb. 61. Bauwerksgruppe (Beispiel).

und Bauwerken zueinander. Neben der hydraulischen und funktionalen Klärung der Einzelelemente muß die Analyse einer Bauwerksgruppe eine Abschätzung der höhenbezogenen Plausibilität einbeziehen, da eine derartige Gruppe nur bei gleichem, gemeinsamem Wasserspiegel ihre Ableitungs- und Verteilungsfunktionen erfüllen konnte. Ergibt beispielsweise der durch gut erhaltene Bauwerke in der Höhe indizierte, plausible Wasserspiegel die zwingende Überflutung nur einzelner Elemente, so stellt diese Tatsache den sicheren Hinweis darauf dar, daß die betroffenen Elemente einer älteren Betriebsperiode des Bewässerungssystems angehören müssen. Allein durch eine Analyse der hydraulischen Leistungsfähigkeit aufgrund des hydraulischen Querschnittes (Durchlaßbreite und Wassertiefe) ist die sichere Zuordnung von Einzelbauten einer Bauwerksgruppe noch nicht möglich, da bestimmte Querschnittsparameter bei verschiedenen funktionalen Bedeutungen auftreten können. Eine schlüssige Erklärung ist meist nur durch eine integrale Betrachtung einer Gruppe in Beziehung zu den Bewässerungsanlagen in der Umgebung möglich. Die Zusammenhänge innerhalb von Teilnetzen des Bewässerungssystems können so befriedigend erklärt werden.

Das grundsätzliche Zusammenwirken der diversen Bauwerkskonstellationen soll mit der Abb. 62

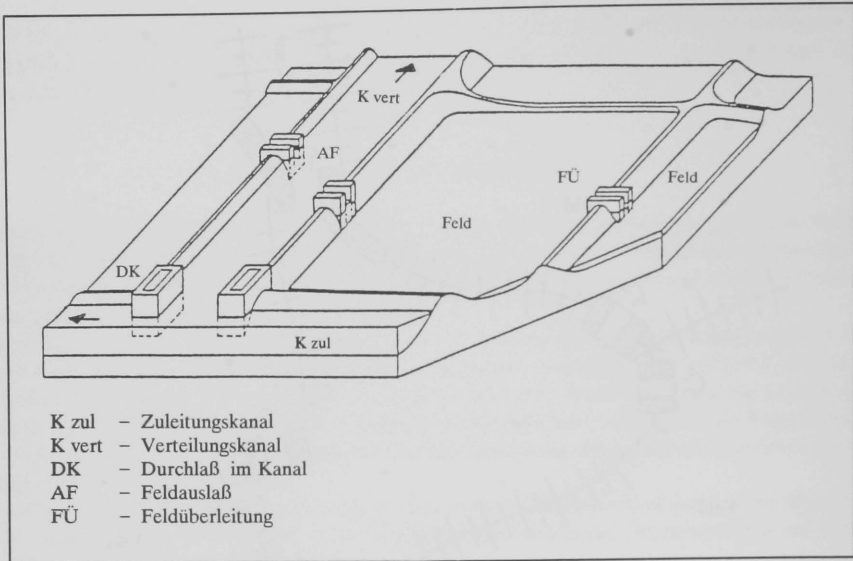


Abb. 62. Möglicher Systemausschnitt.

gezeigt werden. Der abgebildete vollkommene Überfall des Bewässerungswassers aus dem Verteilungskanal auf die Feldflächen zeigt den Zustand nach einer kürzlich erfolgten Systemerhöhung. Die von Schoch²⁴⁸ als Beispiel vorgenommene Deutung einer Bauwerksgruppe (vgl. Abb. 63) bedarf wesentlicher Veränderungen. Die von ihm vorgelegte Interpretation der Gruppe am Rande eines Hauptkanals in Verbindung mit einem temporären, bei jeder Wasserführung zu entfernenden Ablenkdammes muß ohne Zweifel dahingehend abgeändert werden, daß der Bewässerungskanal durch das Bauwerk „A“ hindurchgeführt wird, zumal dieser Durchlaß bei einer Breite von 2,5 m eine Wassertiefe von mehr als 2,3 m zuließ. Dieses Bauwerk ermöglichte das Absperren oder Regulieren des Kanals. Die Bauwerksgruppe ist seitlich versetzt zu einer in der Örtlichkeit erkennbaren Oberflächenstruktur angeordnet, welche die Lage des jüngsten Kanals angibt. Die Durchlässe „A“, „B“, „C“ standen bereits zu Zeiten eines älteren Kanals in Betrieb. Das Bauwerk „D“ kann aufgrund seiner Bauweise und vor allem seiner größeren Höhenlage wegen als jünger eingestuft werden. Hier ist das bereits ausführlich geschilderte Phänomen der seitlichen Kanalverlegung deutlich anzutreffen. Zum Zeitpunkt der Verlegung wurde die aus den Bauwerken „A“, „B“, „C“ bestehende ältere Bauwerksgruppe durch mehrere Anbauten aus Schüttmauern ergänzt. Dabei wurde auch ein zusätzlicher Auslaß errichtet, mit dessen Hilfe vermutlich die im Bereich des älteren Kanalbettes liegende neue Bewässerungsfläche versorgt wurde.

6.4.3 Feldüberleitungen

Das Bewässerungsverfahren der Oase von Märüb weist teilweise die Charakteristika einer Feld-zu-Feld-Bewässerung auf. Es war durchaus üblich, eine Feldfläche über ein darüberliegendes Feld mit

248 vgl. Schoch, Wasserbauten, 33.

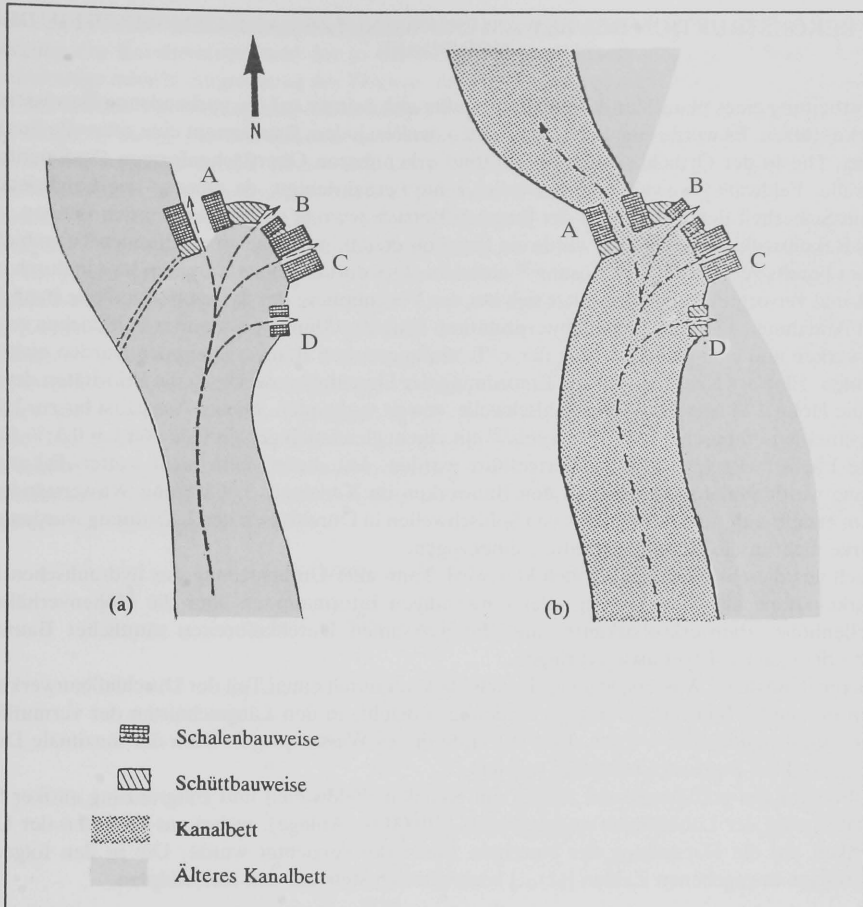


Abb. 63. Bauwerksgruppe.

Bewässerungswasser zu versorgen. Bei der Betrachtung des hydraulischen Zusammenhangs lassen sich die betroffenen Bauwerke höhenmäßig nicht sofort einordnen, da der sich in den Feldüberleitungsbauwerken einstellende Wasserstand ausschließlich von der Überstauhöhe (Wasserstand) in dem darüberliegenden Feld abhängig war. Aus der Abb. 62 wird deutlich, daß eine Beziehung zwischen den Wasserspiegelniveaus im unteren Feld und dem Verteilungskanal nicht hergestellt werden kann, da zwei Höhendifferenzen (am Kanalauslaß und am Feldüberleitungsbauwerk) im Einzelfall nicht rekonstruierbar sind. Die hydraulischen Parameter der Überleitung sind für die Betrachtung des die Felder versorgenden Kanals i.a. nicht ausschlaggebend.

6.5 REKONSTRUKTION DES BEWÄSSERUNGSNETZES AUF DEM WESTTEIL DER NORDOASE

Die Erarbeitung eines plausiblen Kanalnetzes mußte sich primär auf die vorhandenen Bewässerungsbauwerke stützen. Es wurde eine Lösung gefunden, welche jedem Bauelement eine sinnvolle Funktion zuordnet. Die in der Örtlichkeit und im Luftbild erkennbaren Oberflächenformen (Sedimentreste, Kanalwälle, Feldwälle) wurden erst in zweiter Linie berücksichtigt, da diese – wie beschrieben – nicht mit Sicherheit den Bauwerken der jüngsten Betriebsperiode zugeordnet werden können.

Bei der Rekonstruktion des Netzes wurde ein Ergebnis erzielt, welches im betreffenden Teilgebiet von von einer bereits veröffentlichten Lösung²⁴⁹ abweicht. Das dort erarbeitete System für ein durch einen Hauptkanal versorgtes Teilgebiet stützt sich bei der Verknüpfung der Systembestandteile hauptsächlich auf Annahmen aus einer Luftbildinterpretation. Eine Zuordnung bestimmter Feldflächen zu Auslaßbauwerken und eine Aufgliederung der z. T. umfangreichen Bauwerksgruppen wurden nicht vorgenommen. Einziges Kriterium für die Einordnung der Durchlaßbauwerke in die Prioritäten des Netzes ist die Höhe ü.M. der jeweiligen Sohlschwelle, soweit vorhanden. Dieser Ansatz ist bis zur Hinzufügung eines hypothetischen Wasserspiegels²⁵⁰ mit einem gleichmäßigen Gefälle von $I \approx 0,1 \%$ für die gesamte Fließstrecke (ca. 1700 m) fortgeführt worden. Mit dieser dann nicht weiter diskutierten Annahme werden allerdings schon in den Bauwerken im Kanalnetz 3. Ordnung Wasserstände von etwa 3 m erzielt; aufgrund des Fehlens von Sohlschwellen in Durchlässen der 2. Ordnung wurden diese Bauwerke nicht in die Höhenbetrachtung einbezogen.

Wie auch aus diesem früheren Versuch klar wird, kann eine Untersuchung der hydraulischen Realisierbarkeit ohne die Einbeziehung aller notwendigen Informationen über die Höhenverhältnisse (Schwellenhöhe, Bauwerksoberkante) und die wirksamen Durchlaßbreiten sämtlicher Bauwerke keine befriedigenden Ergebnisse erbringen.

Der maximal mögliche Wasserspiegel im Kanalnetz kann durch einen Teil der Durchlaßbauwerke, bei welchen die antike Bauwerksoberkante eindeutig feststeht, in den Längsschnitten der vermutlichen Bewässerungskanäle fixiert werden. Erst mit Hilfe dieses Wasserspiegels kann der maximale Durchfluß der einzelnen Bauwerke bestimmt werden.

Eine Übersicht des rekonstruierten Netzes mit Kanälen, Feldwällen und Eingrenzung antiker Siedlungsplätze zeigt der Luftbildplan im Maßstab 1 : 10000 (s. Anlage), wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der einzelnen Bauwerke verzichtet wurde. Die in den folgenden Erläuterungen angegebenen Zahlen [(1)...] beziehen sich stets auf den Luftbildplan.

6.5.1 Beschreibung der Kanäle

Ausgangspunkt des gesamten Netzes ist das Hauptverteilerbauwerk (s. Kap. 6.2, bes. Abb. 55), wo acht Kanäle, die im folgenden als K1-K8 bezeichnet werden, ihren Anfang haben. Bereits Glaser nahm an, daß an dieser Anlage „das Wasser nach acht verschiedenen Richtungen auf die Felder verteilt“²⁵¹ wurde. Sieben der Kanäle (K1, K3-K8) dienen als Kanäle 2. Ordnung der weiträumigen Erschließung. Von Auslaß C werden außerdem einige Felder über einen Kanal 3. Ordnung (K2) versorgt. Die Möglichkeit, daß dieser Kanal größere Gebiete beliefert hat, ist sehr unwahrscheinlich. Während zwei der Kanäle 2. Ordnung randliche Bereiche (nördlich des Hauptzuleitungskanals (K1) und am Ostrand des Wādī Dana (K8)) und ein weiterer (K3) den nördlichen Ausläufer der Nordoase,

249 vgl. ebd., Tafeln 16, 17.

250 vgl. ebd., Tafel 18 a.

251 vgl. Glaser: Reise, a. O. 70.

der von der Schleife des Wādī Ġufaina begrenzt wird, erschließen, sind vier Kanäle (K4- K7) für die Versorgung des Kernbereiches und der in der Nähe der Stadt Mārib gelegenen Flächen zuständig. Eine eindeutige scharfe Abgrenzung der Flächen, die von den einzelnen Kanälen versorgt wurden, ist wegen der starken Verästelung und den zwischen den Kanälen bestehenden Verbindungen nicht eindeutig möglich, zumal für den Bereich außerhalb des Arbeitsgebietes nur eine Extrapolation der Kanalverläufe aufgrund einiger Bauwerksgruppen und den Luftbildstrukturen erfolgen konnte. Die angegebenen Flächengrößen sind also nur als Anhaltspunkt zu sehen.

Problematisch ist die Anbindung der acht Kanäle an die 13 Hauptverteilerauslässe (vgl. Kap. 6.2). Während die Zuordnung z. T. aufgrund der Auslaßrichtungen bzw. der angrenzenden Kanalreste eindeutig ist, gibt es bei den nach Osten gerichteten Auslässen verschiedene prinzipielle Möglichkeiten. Durch die bauliche Konzeption der Auslässe ist bereits festgelegt, daß zwischen H und I bzw. K und L keine Kanalbegrenzung angeschlossen gewesen sein kann, so daß diese Auslässe jeweils in einen gemeinsamen Kanal münden müssen. Für die gewählte Lösung ergibt sich angenähert eine Proportionalität zwischen den Auslaßbreiten und den Größen der jeweils mit Bewässerungswasser versorgten Gebiete. Zwei Kanäle werden allerdings durch jeweils drei Hauptverteilerauslässe gemeinsam gespeist. Für die äußeren Randbereiche ergeben sich vorteilhaftere Beziehungen zwischen Auslaßbreite und Bewässerungsfläche, da in diesen Gebieten die zu versorgenden Flächen relativ klein sind. Die Beziehungen zwischen den Hauptverteilerauslässen, den Kanälen und den Bewässerungsflächen sind in der Tab. 10 zusammengestellt.

Tab. 10 Zuordnung der Hauptverteilerauslässe.

Auslaß	Breite [m]	Kanal	Bewässerungsfläche [ha]
A	0,78	1	70
B	1,45		
C	1,30	2	
D	2,20	3	170
E	2,42	4	395
F	3,09	5	
G	2,10	6	330
H	2,29		
I	2,00		
J	2,36	7	640
K	2,34		
L	1,70		
M	2,70	8	195
		Σ	1800

Zu bedenken ist, daß zwischen den Kanälen K4 – K7, die gemeinsam bis in die Nähe der Stadtmauer von Märüb führen, mehrere Verknüpfungspunkte im Kanalnetz bestehen, wo die Möglichkeit zur Überleitung bestand. Aus diesem Grund können die diesen Kanälen zugewiesenen Bewässerungsflächen nur als Anhaltswerte angesehen werden. Vor allem sind aufgrund dieses Umstandes die Relationen zwischen den Breiten (Kapazitäten) der Auslässe des Hauptverteilers und den jeweiligen Bewässerungsflächen als variabel anzusehen.

Die einzelnen Kanäle werden im folgenden beschrieben, soweit sie für den Aufbau des Bewässerungssystems wichtige Einzelheiten besitzen. Bei den in der Technik der Schalenmauern mit Hinterfüllung erstellten Durchlässen kann bauartbedingt der Wasserstand nur grob abgeschätzt werden, da i.d.R. weder Bauwerksoberkante noch Durchlaßsohle festgelegt werden können. Wie ebenfalls schon beschrieben, liegt auch bei den Durchlässen aus Schüttmauern aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes die Bauwerksoberkante nur selten fest.

Kanal K1

Dieser Kanal wird von den Auslässen A und B des Hauptverteilers gespeist. Bereits aufgrund des Stikungsrestes im Anschluß an Auslaß B wird die Ablenkung des Kanals nach Westen deutlich. Zunächst parallel zum Hauptzuleitungskanal nach Westen verlaufend versorgt er die heute weitgehend vom Wasser des Wādī Ġufaina erodierten Feldflächen nördlich des Hauptkanals, eventuell zusammen mit K2. Dieses Gebiet, dessen Grenzen nur grob abgeschätzt werden können, hatte eine Größe von ca. 53 ha.

Kanal K3

Der Hauptverteilerauslaß D speist Kanal K3, der den nördlichen Ausläufer der Nordoase versorgt. Eine erste Rekonstruktion dieses Bereiches wurde von Schoch durchgeführt²⁵². Seine Lösungsmöglichkeit weist jedoch große Differenzen zu dem hier vorgelegten Vorschlag auf. Eine detaillierte Funktionszuweisung zu den einzelnen Bewässerungsbauwerken erfolgt bei Schoch nicht. Die Versorgung der Felder wird nicht klar herausgestellt, auch ist die große Anzahl von untergeordneten Kanälen aus funktionellen Gesichtspunkten nicht zu begründen.

Die Höhenverhältnisse am Beginn des Kanals sind nicht eindeutig zu interpretieren. Die Schwellen der Bauwerke sind verhältnismäßig tief, in Anbetracht des aus den nachfolgenden Bauwerken zu erwartenden maximal möglichen Wasserspiegels ergäben sich so Bauwerkshöhen bis zu 3 m, was ungewöhnlich hoch erscheint. Da auch die von Schoch vorgestellte Lösungsmöglichkeit, den Kanal über Auslaß E des Hauptverteilers zu versorgen, wegen der dort auftretenden Bauwerkshöhen vergleichbare Probleme bezüglich der Höhenverhältnisse beinhaltet, muß die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß während der letzten Betriebsperiode die betreffenden Bauwerke ihre Funktion nicht mehr erfüllen konnten und/oder sollten. Die von Schoch vorgeschlagene klare gegenseitige Trennung von zwei Kanälen im Bereich der Bauwerksgruppe (1) kann aufgrund der Bauwerksituation nicht nachvollzogen werden.

Hinter dieser Bauwerksgruppe (1) zweigt ein Kanal ab, der den östlichen Teil des betreffenden Gebietes versorgt und in den Kanal K4 einmündet. Damit war die Möglichkeit gegeben, auch über K3 überschüssiges Wasser an die eigentlich von K4 versorgten Gebiete abzugeben.

Im weiteren Verlauf von K3 zweigen mehrere Kanäle nach Westen ab, die darauf hinweisen, daß eine Verbindung zu den westlichen, heute vom Wādī Ġufaina erodierten Flächen bestanden hat.

Während bis zur Bauwerksgruppe (2) aufgrund der Bauwerke ein relativ kleines Gefälle des Kanals zu erwarten ist, wird er ab hier wesentlich steiler und geht zum Wādī Ġufaina hin in eine breite Erosions-

²⁵² vgl. Schoch: Wasserbauten, a. O. 27 ff.

rinne über. Diese Erosionsrinne kann jedoch nicht erst nach Beendigung der Bewässerung entstanden sein, da die in der Rinne stehenden Bauwerke nach ihrer Bauart einwandfrei in eine späte Bewässerungsperiode eingeordnet werden können (Bauweise mit Schüttmauern). Die Bildung der Erosionsrinne kann verschiedene Ursachen gehabt haben.

Durch einen vorübergehend kleineren Flächenbedarf während der Betriebszeit könnten randliche Bereiche des Systems vernachlässigt worden sein; während der Kernbereich inzwischen weiter aufsedimentierte, wurde überschüssiges Wasser unkontrolliert zum Rand abgeführt, es kam zur Bildung einer Rinne. Bei einem später wieder angewachsenen Flächenbedarf (z. B. bei der Betriebseinstellung der Südoase), wurde durch Errichtung der Bauwerke in der Rinne versucht, den Wasserspiegel zu erhöhen, um die Feldflächen in diesem Bereich erneut bewässern zu können. Möglicherweise entstand die Rinne aber in recht kurzer Zeit, etwa durch Beschädigungen im oberen Bereich des Kanals, was zum Abfluß großer Wassermengen mit hoher Geschwindigkeit führte. Es ist jedoch fraglich, ob diese Ereignisse zur Schaffung einer Rinne mit den vorhandenen Abmessungen genügen konnten, so daß wohl die erstgenannte Möglichkeit wahrscheinlicher ist.

Auch an anderer Stelle der Oase sind Erosionsrinnen vorhanden, die höchstwahrscheinlich schon während der Bewässerung entstanden. So befindet sich etwa 750 m östlich von K3 eine weitere mächtige Rinne [Bereich(3)]. In den beidseitig dieser Rinne gelegenen Bereichen deuten die Höhen der Bauwerke darauf hin, daß hier die Geländeoberflächen zur Rinne hin abfielen, so daß sich dort überschüssiges Wasser sammelte und – wie auch K3 – nach Norden gegen den Oasenrand abgeleitet wurde. Im Falle des Kanals K3 gelangte das Wasser in die von der Hochwasserentlastung am Nordbau nach al-Mabnā führende Rinne, das heutige Wādī Ġufaina. Ein spezieller, direkt am Oasenrand verlaufender Randkanal, wie er an der Grenze zum Ġufaina-System teilweise in den Sedimenten identifiziert werden kann, bestand in diesem Bereich anscheinend nicht.

Kanal K4

Kanal K4 verläuft, ausgehend vom Hauptverteiler auslaß D, zunächst ca. 300 m nach Norden und schwenkt dann nach Nordosten ab. Sein Verlauf wird, wie auch bei K3, durch eine große Anzahl von teilweise umfangreichen Verteilergruppen markiert. Der Kanal versorgt den nördlichen Kernbereich des untersuchten Gebietes sowie den östlich der oben beschriebenen Rinne (3) gelegenen Randbereich am Wādī Ġufaina. Sein Verlauf ist weiter nach Osten zu verfolgen, wo er zusammen mit K5 noch den südlich an die Grenze zum Ġufaina-System gelegenen Streifen bewässert.

Etwa 1300 m vom Hauptverteiler entfernt befindet sich die große Verteilergruppe (4). Hier wurde einerseits Wasser aus dem von K3 ankommenden Verbindungskanal übergeleitet, andererseits zweigen auch, neben einigen Feldauslässen, vier Kanäle 3. Ordnung ab. Außerdem ist es im Hinblick auf die folgende Gruppe (5) unter Beachtung der Höhenverhältnisse möglich, daß bereits ab hier parallel zu K4 ein Kanal 3. Ordnung mit kleinerem Gefälle verlief, der die südlichen Bauwerke der Gruppe (5) versorgte, da diese ca. 1 m höhere Schwellen als die übrigen Auslässe in dieser Gruppe aufweisen; ein Zusammenwirken der Elemente in dieser Gruppe mit einem gemeinsamen Wasserspiegel ist deshalb kaum möglich.

Für das Gebiet nördlich dieser Bauwerksgruppe erweist sich die Rekonstruktion als relativ schwierig. Durch die zahlreichen, tief eingeschnittenen Erosionsrinnen, die zudem keinen symmetrischen Strukturen folgen, wird eine Deutung der Zusammenhänge erschwert, so daß die Rekonstruktion einige Unsicherheiten enthält.

Im weiteren Verlauf von K4 ist die Kanalkrümmung in Gruppe (6) interessant.

Kanal K5

Hauptverteiler auslaß F speist Kanal K5. Dieser Kanal verläuft etwa geradlinig nach Nordosten; er besitzt jedoch im westlichen Bereich nur wenige Feldauslässe, so daß er nach seinem Zusammenfluß

mit K4 hauptsächlich zur Versorgung der weiter östlich gelegenen Gebiete dient. Interessant ist, daß in seinem Verlauf an zwei Stellen Stickungen den Kanal begrenzen. Während die östlich (etwa 1900 m vom Hauptverteiler entfernt) gelegene, den Kanal ablenkende Stickung aufgrund des hier sehr großen Kanalgefälles und der damit zu erwartenden hohen Fließgeschwindigkeit sinnvoll ist, so kann die Notwendigkeit der ca. 750 m vom Hauptverteiler entfernt liegenden Stickung nicht sofort erkannt werden. Aufgrund des beidseitig gestickten Walles kommt ihr – wie sich im Plan auch zeigt – die Aufgabe der Trennung zweier Kanäle zu. Die Tatsache, daß es im System durchaus ähnliche Situationen gibt, bei denen keine Stickungen errichtet wurden (bzw. nicht mehr erhalten sind), deutet an, daß die Anlage dieser Stickung wohl im Zuge von Änderungen der Kanalverläufe im Bewässerungsnetz notwendig wurde. Insgesamt versorgen K4 und K5 eine Fläche von 350 ha, wobei eine genaue Abgrenzung auch hier nicht gegeben werden kann.

Kanal K6

Der Kanal K6 verläuft zunächst parallel zu K4, nach etwa 1250 m verzweigt er sich allerdings in mehrere Kanäle. Hauptsächlich beliefert er den östlichen Zentralbereich des untersuchten sowie den mittleren Teil des östlich anschließenden Gebietes, dabei existieren auch Verbindungen zu K5. K6 ist für die Versorgung von etwa 350 ha Bewässerungsflächen zuständig. Dazu wird er von drei Auslässen (G, H, I) des Hauptvertailers gespeist.

Kanal K7

Ausgehend von ebenfalls drei Auslässen des Hauptvertailers (J, K, L) versorgt K7 in der Hauptsache den südöstlichen Teil des Hauptvertailersystems. Nach einer Verzweigung bei Bauwerksgruppe (7), ca. 450 m vom Hauptverteiler entfernt, weisen 3 Durchlaßbauwerke auf ein Umbiegen des Kanals in südliche Richtung hin. Östlich dieses Kanals befindet sich eine Teilregion, wo eine gegenseitige, funktionelle Zuordnung der Bauwerke aufgrund ihrer Lage, Richtung und Höhe nur schwer herzustellen ist. Als problematisch erweisen sich vor allem die Höhen der Durchlaßschwellen, die hier teilweise über 1198 m ü.M. betragen. Es handelt sich hier um den höchsten Bereich der gesamten Nordoase, zu dessen Bewässerung im Hauptverteiler ein Wasserspiegel von über 1198,5 m ü.M. erforderlich war. Außerdem sind alle anderen Bewässerungsbauwerke im Umkreis dieses Gebietes tiefer, so daß eine Anbindung dieses Bereiches an einen anderen Kanal auch keine besseren Ergebnisse liefern kann. Da zudem die Aufbauhöhen der vorher im Kanal befindlichen Bauwerke durchaus derartige Wasserspiegelhöhen von 1198,5 m ü.M. zulassen, muß die Versorgung der Flächen über K7 erfolgt sein. Unklar bleibt dennoch, warum dieser Bereich (und nicht etwa die direkte Umgebung des Hauptvertailers) so hoch ist. Denkbar ist jedoch, daß hier bevorzugt bewässert wurde und damit das Sedimentniveau schneller und stärker anstieg als in der Umgebung. Auf eine besondere Bedeutung dieser Region weist möglicherweise eine in Fundamenten etc. erhaltene größere Siedlung hin; hier waren mehrere Häuser auf einer etwa quadratischen Fläche von einer Mauer aus hinterfülltem Schalenmauerwerk umschlossen. Im Bereich dieser Umfriedung befindliche Bewässerungsauslässe zeigen an, daß diese Siedlung vermutlich z. T. von einem Wassergraben umgeben war. Vergleichbar angeordnete und ausgestaltete Siedlungsreste sind im Untersuchungsgebiet (Westen der Nordoase) nicht gefunden worden.

Im weiteren Verlauf des Kanals kommt es bei Gruppe (8) zu einer Aufspaltung in drei Kanäle (K7a, b, c), die fächerartig das südöstliche Gebiet erschließen. Eine detaillierte vollständige Rekonstruktion dieses Bereiches ist nicht möglich, da bereits während der Feldarbeiten hier der größte Teil der Flächen rezent landwirtschaftlich genutzt wurde und die Bewässerungsbauwerke aus diesem Grunde bis auf wenige Ausnahmen eingeebnet waren. Die nur auf Luftbildern basierenden Informationen über den ursprünglichen Zustand (vor der Rekultivierung) reichen nicht aus, die Rekonstruktion wie im übrigen Gebiet fortzusetzen (fehlende Bauwerksdaten, falsche Identifikation im Luftbild), so daß lediglich vermutete Kanalverläufe anhand der Strukturen verfolgt werden können.

Kanal K8

An den nach Südosten weisenden Hauptverteilerauslaß M schließt der Kanal K8 an, der die peripheren Gebiete am nördlichen Ufer des Wādī Dana versorgt. Daher zweigen von diesem Kanal mehrere Kanäle 3. Ordnung nach Südwesten ab. Die Rekonstruktion in diesen zerklüfteten randlichen Gebieten ist aus den gleichen Gründen, wie bei K4 schon beschrieben, äußerst schwierig. Sie ist mit einem großen Unsicherheitsfaktor behaftet, zumal kaum Übereinstimmung zwischen Luftbildstrukturen und den geringen Bauwerksresten besteht. Auch im südlichen Bereich lassen die Bauwerke keine eindeutige Interpretation zu. Während die Gruppe (9) Schwellenhöhen von 1195,5 m ü.M. – 1196,0 m ü.M. und entsprechende Aufbauhöhen aufweist, sind die südöstlich davon befindlichen Bauwerke zum Teil wesentlich höher (Schwellenhöhe 1197,0 m ü.M.), so daß eine Verbindung dieser Bauwerke durch den Kanal unwahrscheinlich erscheint. Deshalb ist die dargestellte Aufspaltung des Kanals bereits an der Stelle sinnvoll, wo auch eine Überleitung zu K7 höhenmäßig möglich ist. Unklar bleibt jedoch die Funktion eines Bauwerkes, das mit seiner auffälligen Durchlaßbreite von 4 m zunächst auf den Kanalverlauf hinzuweisen scheint, in Anbetracht der Höhenlage und besonders mit seiner großen Breite jedoch keine sinnvolle Lösungsmöglichkeit zuläßt. Es ist möglicherweise einer früheren Periode zuzuordnen.

Die Rekonstruktion der beschriebenen Kanäle in dem östlich anschließenden Teil der Nordoase, wo keine detaillierte Bauwerksaufnahme durchgeführt worden ist, wurde auf der Basis des zur Verfügung stehenden Luftbildes vorgenommen. Die Fortsetzungen der Kanäle K4/5, K6 (südlicher Zweig) und K7 (nördlicher und südlicher Zweig) können durch Übernahme erkennbarer rezenter Oberflächenformen eindeutig trassiert werden, jedoch ist die Ergänzung des nördlichen Zweiges von Kanal K6 problematisch. Aus dem Luftbild ist ein eindeutiger Verlauf dieses für die Versorgung des zentralen Flächenstreifens bedeutenden Kanals nicht über die gesamte Distanz erkennbar. Alternativ zu der dargestellten Lösung ist auch vorstellbar, daß der betreffende Zweigkanal nur über eine Strecke von etwa 1500 m fortgesetzt wurde; die Versorgung des östlich anschließenden Zentralgebietes wäre in diesem Falle durch den südlichen Zweig von Kanal K6 oder durch Kanal K5 erfolgt.

Es ist anzunehmen, daß auch in diesem weiteren Teil des Hauptverteilersystems, in dem die Rekonstruktion nur in Form eines groben, aber sinnvollen Kanalnetzes erstellt werden konnte, eine Situation bestand, die der des Westteils vergleichbar war. Vor allem ist von der Existenz zahlreicher Verbindungen zwischen den Kanälen 2. Ordnung auszugehen, wobei die Anzahl derartiger Verbindungen gegen Osten zuzunehmen scheint, bis es dann in der Nähe der Stadtmauer von Mārib zur endgültigen Vereinigung zumindest der Kanäle K5 und K6 kommt. Das nicht zur Bewässerung im Hauptverteilersystem genutzte Wasser wurde in das Ġufaina-System eingeleitet.

Die beiden Zweige des Kanals K7 versorgten die zum Wādī Dana gelegenen Flächen, die z. T. durch das Wadi vollständig erodiert worden sind, und kommen für evtl. Überleitungen in das Ġufaina-System weniger in Betracht. In dem angesprochenen östlichen Bereich, wo die heutige Wadi-Trasse stark von der zur antiken Betriebszeit bestehenden abweicht, ist die im Luftbild erkennbare Oasenfläche um große Teile zu ergänzen.

Überleitungen in das Ġufaina-Bewässerungsnetz konnten in Form normaler, offener Kanäle nur in der Nähe des Stadtbereichs von Mārib stattfinden, da erst hier die Höhen der beiden Systeme einander angeglichen sind. Die durch eine sich ständig verringernde Terrassenstufe gekennzeichnete Grenze wird an mehreren Stellen durch die angesprochenen Absturzbauwerke überwunden. Mit deren Hilfe wurde aus Kanälen 3. Ordnung des Hauptverteilersystems (Rest-)Wasser in den über weite Strecken unterhalb der Stufe verlaufenden, nach Osten führenden Hauptkanal des Ġufaina-Systems hinabgeleitet.

6.5.2 Netzdichte und Flächenbedarf

Insgesamt umfaßt das rekonstruierte Kanalnetz im näher untersuchten Teilbereich (750 ha) eine Gesamtlänge von etwa 42,5 km, was einer Netzdichte von 57 m/ha entspricht. Dieser Wert erscheint zunächst recht hoch, wenn man ihn mit den Netzdichten anderer Bewässerungssysteme vergleicht (z. B. antikes Bewässerungssystem Sistan/Afghanistan: 25 m/ha, rezent es System El Ghab/Syrien: 17 m/ha). Man muß allerdings bei diesem Vergleich berücksichtigen, daß in Mär ib Kanäle aller Ordnungen für die Berechnung der Netzdichte herangezogen wurden. Hinzu kommt, daß keine Kanäle zur Verteilung auf Feldebene (4. Ordnung) existiert haben, wie es z. B. im System El Ghab der Fall ist, wo diese dann aber nicht in die Ermittlung der Netzdichte einbezogen sind. Außerdem übernehmen einige Kanäle nicht nur Be-, sondern auch Entwässerungsfunktion (Überschußwasser), so daß der erhaltene Wert bei den vorhandenen Feldgrößen realistisch ist. Für die Feldwälle ergibt sich bei einer derartigen Betrachtung ein Wert von ca. 40 m/ha. Damit ist es nun auch möglich, den Flächenbedarf anzugeben, der für Kanäle bzw. Feldwälle und auch für Siedlungen auf einer bestimmten Fläche nötig war. Eine Zusammenstellung dieser Werte zeigt Tabelle 11.

Tab. 11 Netzdichten und Flächenbedarf.

Westteil der Nordoase (≈ 750 ha)		mittl. Flächenbedarf	Flächenbedarf für Westteil der Nordoase
Kanäle	Netzdichte: 57 m/ha	16,0 m ² /lfd. m	68,0 ha
Feldwälle	Netzdichte: 40 m/ha	2,5 m ² /lfd. m	7,5 ha
Siedlungen	Anzahl: 40	0,5 ha/Siedlung	20,0 ha

Für die Betrachtungen wurde eine durchschnittliche Oberbreite der Kanäle von 10 m vorausgesetzt, so daß bei einer mittleren Kanaltiefe von 2 m und der Böschungsneigung von 1:1,5, die auch für die Feldwälle angesetzt wird, für die Bewässerungskanäle eine Fläche mit einer Breite von 16 m benötigt wird. Der sich ergebende, relative Anteil für die genannten Infrastruktureinrichtungen an der Gesamt-Oasenfläche beträgt etwa 13%. Dieser Wert kann noch um einen geringen Betrag verringert werden, wenn man die wahrscheinliche landwirtschaftliche Nutzung der Kanal- und Feldwälle einbezieht.

6.5.3 Gelegenheiten der Steuerung in den Kanälen

Die Steuerung der Ableitungsbauwerke (Nord- und Südbau) ist in Kap. 3 behandelt. Diese Betrachtungen müssen als Vorbedingung für die Möglichkeiten zur Wasserverteilung und Steuerung am Hauptverteilerbauwerk und im Kanalnetz berücksichtigt werden. Der sich aufgrund des natürlichen Dargebotes und der Steuerungsvorgänge ständig verändernde Abfluß am Nordbau (N1) repräsentiert den Zufluß für den Hauptverteiler. Es war sicher die Absicht, bei der Verteilung des Bewässerungswassers unnötige Wasserverluste zu vermeiden und damit die Effektivität zu erhöhen. Die Steuerungsvorgänge an den Bauwerken wurden deshalb wahrscheinlich auf das unbedingt notwendige Mindestmaß beschränkt. Auch für den Hauptverteiler mit seinen z. T. relativ großen Durchflußquerschnitten besitzt diese Annahme Gültigkeit. Eine Möglichkeit der Steuerung im Hauptverteiler ist derart denkbar, daß sämtliche Auslässe während des gesamten Abflußzeitraumes geöffnet waren. Bei dieser praktisch als ungesteuerte Verteilung zu

bezeichnenden Variante wurde das eintreffende Wasserdargebot etwa proportional zu den jeweiligen Auslaßbreiten aufgeteilt, wenn man dabei voraussetzt, daß die Schwellenhöhen bzw. die wirksamen Sedimenthöhen bei allen Auslässen gleich sind. Die vom Nordbau eintreffende Dargebotsspitze $Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$ fließt mit einem Wasserstand von 2 m durch die Auslässe ab, wenn keine Beeinflussung aus den kanalabwärts liegenden Bereichen vorliegt. Hydraulische Kennlinien und Auslaßkapazitäten sind dem Kap. 6.2 zu entnehmen, welches sich speziell mit der Hauptverteileranlage befaßt.

Der beschriebene, nicht beeinflussbare Betriebszustand des Hauptverteilers bringt jedoch Nachteile mit sich, die gegen diese Form der Wasserverteilung sprechen.

- Die Abflüsse für die peripheren Oasenbereiche steigen stark an; besonders bei Auslaß C fällt das außergewöhnliche Verhältnis von Abfluß und Bewässerungsfläche auf.
- Die während des Jahresgangs am Hauptverteiler häufig auftretenden geringen Wasserdarangebote erzeugten in den den kleineren Auslässen zugeordneten Kanälen zwangsläufig entsprechend geringe Abflüsse. Dies führt beim Transport zu vermeidbaren Verlusten durch Verdunstung und Versickerung. Durch eine Aufteilung auf wenige Auslässe kann für derartige Dargebotssituationen eine günstigere Ausnutzung erwartet werden.
- Die im Kanalverlauf stehenden Durchlaßbauten wirken wegen ihrer relativ geringen Kapazitäten von max. $10\text{--}12 \text{ m}^3/\text{s}$ einschränkend. Für die ungesteuerte Version des Hauptverteilers beträgt bei einem Zufluß von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= Q_{\max}$ des Nordbaus mit eingelegetem Balkenwehr) z. B. für die Kanäle K5 und K6 der maximal mögliche Abfluß etwa jeweils $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

In diesem Fall wird die Situation im Hauptverteiler durch den Aufstau an den jeweils ersten Kanaldurchlässen beeinflusst. Die Abflüsse in den Auslässen müssen daher unterwasserbeeinflusst und geringer als errechnet sein.

Bei der ungesteuerten Aufteilung eines bestimmten Dargebots erhalten also die größeren Bewässerungsbereiche trotz der relativ größeren Kapazität der Auslässe nur eine ungenügende Wassermenge. Für eine vollständige Versorgung dieser Gebiete müßte der notwendige Bewässerungszeitraum größer sein als für die kleineren Teilgebiete. Eine Abschwächung dieses Effektes wurde wohl durch die zahlreichen Verbindungen und Überleitungen innerhalb des Kanalnetzes bewirkt.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich zwingend, daß die Hauptverteilerauslässe Regulierungseinrichtungen besaßen. Für den beabsichtigten Zweck war es ausreichend, wenn nur die Zustände „offen“ und „geschlossen“ eingestellt werden konnten, eine feinere Regulierung war nicht erforderlich. Dadurch konnte das Bewässerungswasser bedarfsabhängig auf die Teilgebiete verteilt werden. Besonders in den Jahren mit geringem Dargebot war es wichtig, die Verluste zu minimieren.

Die Betreiber gingen vermutlich so vor, daß in Erwartung des herannahenden Sayls nur die wichtigsten Auslässe geöffnet waren. Bei der evtl. Zunahme des Abflusses wurden dann weitere Auslässe geöffnet. So konnten die Flächen angepaßt an den Bedarf versorgt werden, gleichzeitig wurden die Maximalkapazitäten der Kanäle nicht überschritten.

In diesem Zusammenhang soll die Möglichkeit einer Hochwasserentlastung in der Hauptverteileranlage erwähnt werden. Bei dem Maximalabfluß der gesteuerten Version des Nordbaus (N1) war die Verteilung des $Q_{\max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ problemlos möglich. Bei einem geöffneten Nordbau konnte der dann maximal mögliche Abfluß $Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$, der auch durch Verluste im Hauptkanal kaum verringert wurde, nicht ohne Gefährdung der Kanäle bzw. der Durchlaßbauwerke verteilt werden. Für derartige Betriebszustände war eine weitere Hochwasserentlastung im Hauptverteiler erforderlich. Im heute gänzlich zerstörten Südbereich der Anlage ist die Existenz einer derartigen Vorrichtung denkbar.

Die beschriebene Steuerung des Hauptverteilers hatte zur Folge, daß die Mehrzahl der Kanäle des Bewässerungsnetzes nicht dauernd („continuous flow“), sondern nur zeitweise Wasser führten. Durch die kurzen Spitzen im Dargebot wurde dieser Effekt noch verstärkt. Die relativ hohen Spitzen in Verbindung mit einer geringen Dauer setzten sich bis in den Hauptverteiler fort. Daher konnte der Betrieb auch nicht nach einem festen Rotationsprinzip durchgeführt werden, es war nicht möglich,

geplante, feste Umlauf-(Rotations-)Zeiten bei dem Betrieb von Auslässen und Kanälen einzuhalten. Um das Wasserdargebot dennoch optimal auszunutzen, waren die Kanäle in Abschnitte unterteilt. Diese Abschnitte sind durch die Durchlaßbauwerke in den Kanälen deutlich gekennzeichnet. Dort konnten die Kanäle jeweils vollständig abgesperrt werden. Die Zahl der angeschlossenen Felder und damit der Umfang der bewässerbaren Felder variiert in den Abschnitten. Aufgrund der untersuchten Kanäle kann aber davon ausgegangen werden, daß diese Blöcke eine Maximalgröße von 15 ha aufwiesen. Durch diese Gliederung in relativ kleine Blockeinheiten konnte auch ein geringes Wasserdargebot effektiv genutzt werden.

Für den Betrieb innerhalb der Abschnitte sind zwei grundsätzliche Vorgehensweisen möglich, wobei der Verschluß des Kanals am Durchlaßbauwerk vorausgesetzt wird:

- a) Die Feldauslässe innerhalb der Abschnitte sind zunächst geschlossen; diese werden erst bei Erreichen eines Maximalwasserspiegels, der durch die Höhe der Kanaldurchlässe vorgegeben wird, gemeinsam geöffnet.
- b) In den Abschnitten sind alle seitlichen Auslässe geöffnet. Mit steigendem Wasserstand werden die Schwellen jeweils einzelner Bauwerke überströmt und die Felder überflutet; bei Erreichen der beabsichtigten Überstauhöhe mußten die Feldauslässe verschlossen werden. Daraufhin konnte der Wasserspiegel im Kanal weiter ansteigen, bis schließlich auch die Schwellen höherliegender Bauwerke überströmt wurden.

Bei näherer Überlegung muß die Variante a) als unwahrscheinlich verworfen werden. Der hohe Wasserstand im Kanal bewirkte bei den tiefliegenden, evtl. älteren Feldauslässen erhebliche Abflüsse auf die Felder (bei unbeeinflusstem Überfall z. T. über $5 \text{ m}^3/\text{s}$). Erosionsschäden auf den Feldern und Beschädigungen der Bauwerke wären die Folge gewesen. Außerdem konnten die Verschlußeinrichtungen nur mit Schwierigkeiten während des Betriebes manipuliert werden. Eine willkürliche Änderung der vorgesehenen Wasserverteilung war daher wohl nicht möglich. Etwaige Umstellungen an den Einrichtungen mußten von lokalen Kräften entschieden und durchgeführt werden, das Fehlen schneller Kommunikationseinrichtungen bedingte es, daß eine spontane Reaktion auf Besonderheiten des Abflußereignisses auf Anweisung einer zentralen Stelle nicht möglich war.

Die Gefahr von Erosionserscheinungen ist bei Möglichkeit b) weitaus geringer, auch wenn hier durchaus Wassergaben bis zu $1\text{--}1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zu erwarten sind, was jedoch aufgrund des Bewässerungsverfahrens und dem damit verbundenen Zwang, größere Abflußspitzen und -mengen relativ schnell zu verteilen, sinnvoll ist.

Genaue Angaben über die Abflußvorgänge in den Kanälen lassen sich nur aufgrund von Kenntnissen der Wasserspiegellagen machen. Auf die Möglichkeit entsprechender Berechnungen soll später noch eingegangen werden.

In der nachfolgenden Darstellung werden zusammenfassend die Einflüsse der Steuerung der verschiedenen Funktionselemente des Hauptverteilersystems dargestellt.

Ohne Steuerung war eine effektive Verteilung des Wassers nicht möglich. Der Begriff „Steuerung“ ist dabei jedoch einzuschränken; es reicht aus, daß bei allen Verteilungsbauwerken die Möglichkeit eines vollkommenen Verschlusses bestand, — eine exaktere Steuerung war nicht nötig und wäre in Anbetracht des Bewässerungsverfahrens auch zu aufwendig gewesen.

6.5.4 Möglichkeit von Berechnungen im Kanalnetz

Die hydraulischen Zusammenhänge für das gesamte Bewässerungssystem resp. für dessen Teilbereiche könnten evtl. mit Berechnungen näher untersucht werden. Es ist vorstellbar, daß man dann auf der Basis des Zuflusses in den Hauptverteiler für bestimmte Zustände der Hauptverteilersteuerung Durchflußganglinien für die einzelnen Kanäle 2. Ordnung ableiten kann. Mit Berücksichtigung der hydraulischen Kenndaten der einzelnen Bewässerungsbauten und der Größen bzw. des Wasserbedarfs der dazugehörigen Felder können Aussagen über die Wassergaben und deren zeitliche Verteilung auf Feldebene gewonnen werden. Das Endziel wäre ein hydraulischer Nachweis für das gesamte rekonstruierte Bewässerungssystem.

Tab. 12 Wirkung von Steuerungseinrichtungen.

	ungesteuert	gesteuert
Nordbau	$Q_{\max} = 118 \text{ m}^3/\text{s}$ erfordert zusätzliche Hochwasserentlastung im Hauptverteiler	$Q_{\max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ größeres Dammbruchrisiko, bessere Versorgung der Anlage „al-Mabnā“
Hauptverteiler	ungünstige Verteilung, kleine Flächen erhalten zu viel Wasser und umgekehrt	Anpassung an den Bedarf der verschiedenen großen Versorgungsflächen
Kanaldurchlässe	schlechte Verteilung, große Verluste besonders bei Niedrigwasser	durch abschnittsweise Bewässerung ausreichende Versorgung einzelner Blöcke bei Niedrigwasser
Feldausslässe	je nach Höhe der Verteiler Wassergabe zu groß bzw. zu klein	möglicher Verschluß bei gewünschter Stauhöhe

Die erforderlichen Berechnungen können, wenn überhaupt, nur unter Einsatz umfangreicher Programme durchgeführt werden. Am Beispiel einer charakteristischen Kanalpartie (s. Abb. 64) soll der notwendige Rechengang dargestellt werden. Für die Betrachtung wird die Annahme vorausgesetzt, daß sämtliche Durchlässe geöffnet sind, außerdem ist der Abfluß Q_A (SOLL) aus den Bedingungen im Hauptverteiler vorgegeben. Die Berechnung ist gegen die Fließrichtung durchzuführen, die Vorgehensweise ist dem Schema (Abb. 65) zu entnehmen.

Um eine ausreichende Genauigkeit zu erhalten, erfordert eine Berechnung die exakte Kenntnis aller hydraulisch wirksamen Elemente im Kanalsystem. Im Falle des rekonstruierten Kanalnetzes des

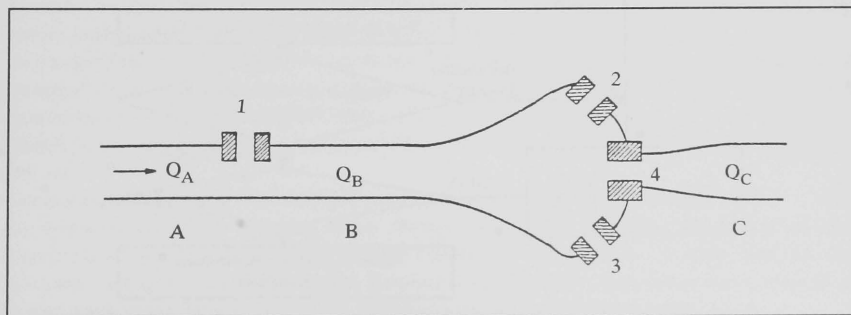


Abb. 64. Charakteristischer Kanalabschnitt (schematisch).

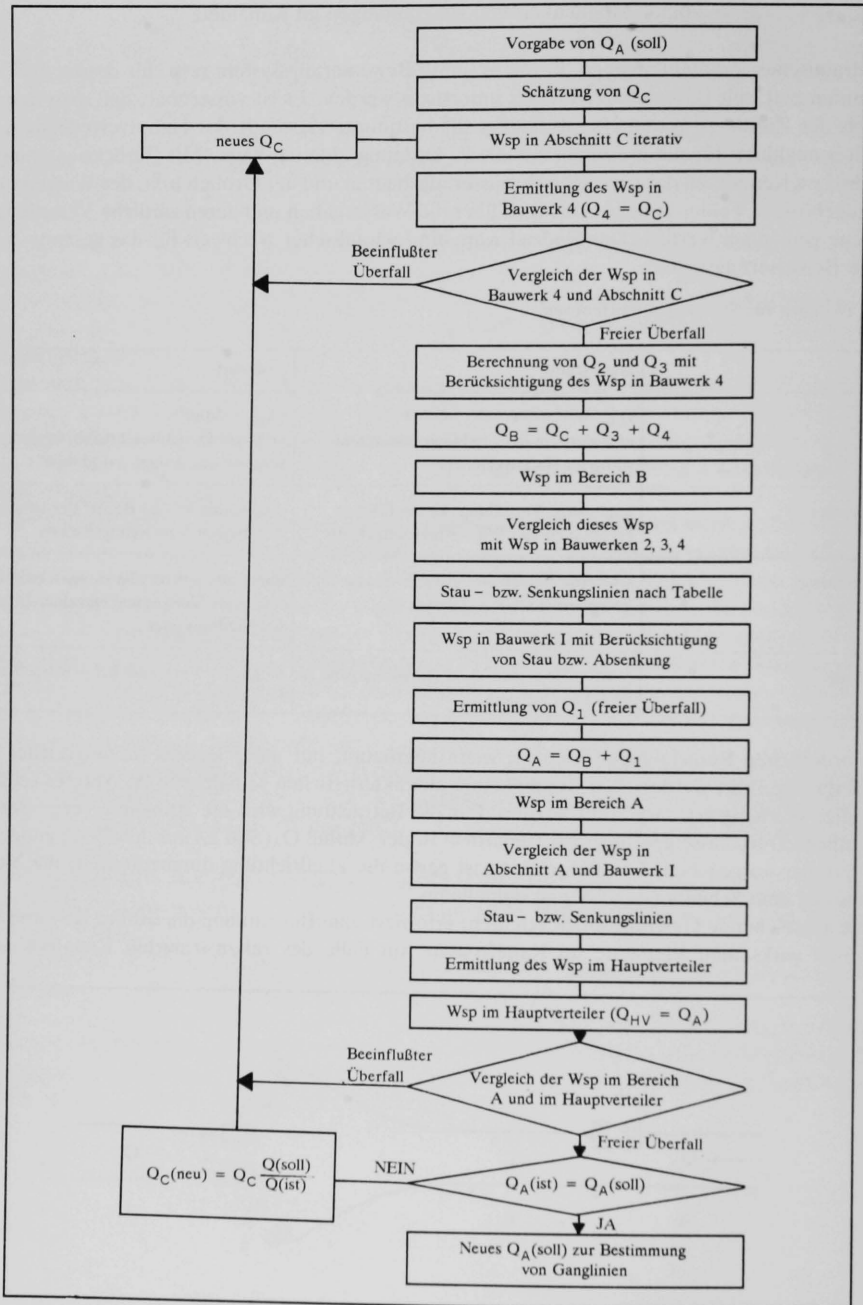


Abb. 65. Schematische Entwicklung der Kanalhydraulik.

Bewässerungssystem Mārib sind diese aber teilweise garnicht bzw. nur ungenügend bekannt. Besonders die folgenden Probleme wirken sich auf die Berechnungen aus:

- Daten der Kanalprofile mit einer ausreichenden Genauigkeit stehen an keiner Stelle zur Verfügung. Die Kanäle wiesen oftmals Verengungen und Aufweitungen des Profils auf, die bei einer Rekonstruktion nicht erfaßt werden können.
- Sohlgefälle in den Kanälen sind nicht bekannt. Sind allerdings im Kanalverlauf aufeinanderfolgende Durchlaßbauten mit Sohlswellen bekannt, könnte aus dem Höhenunterschied ein Gefälle ermittelt werden.
- Zahlreiche Bewässerungsbauwerke sind zerstört, bei einer Vielzahl fehlen die Schwellen- und/oder Aufbauhöhen.
- Der bauliche Endzustand der Hauptverteileranlage und die hydraulischen Bedingungen sind nicht eindeutig rekonstruierbar.

Zu beachten ist weiterhin, daß die Kanalsituation und die Bauwerkskonstellationen grundsätzlich wesentlich diffiziler sind als der für eine Demonstration ausgewählte fiktive Kanalabschnitt. Es sind die zahlreichen Vernetzungen innerhalb des Kanalsystems zu berücksichtigen, die durch die Kanalabzweigungen und -vereinigungen gekennzeichnet sind. Wie sich bei den Felduntersuchungen und gerade aus der Rekonstruktion ergeben hat, erfolgen diese Abzweigungen bzw. Vereinigungen häufig ohne ein massives Bewässerungsbauwerk, so daß eine hydraulische Berechnung des Systems sehr problembehaftet sein muß.

Vereinfachungen im Rechenablauf und/oder Ergänzungen sämtlicher fehlender Informationen durch plausible Annahmen würden das Ergebnis derartig verfälschen, daß Folgerungen für die Funktionsabläufe im Bewässerungssystem nicht daraus abgeleitet werden können.

Es zeigt sich deutlich, daß auch für die Systeme auf den Oasen der Bewässerungskultur Mārib gilt, daß sie das Ergebnis sukzessiv akkumulierter Erfahrungen der antiken Betreiber darstellen und daher kaum rational durch hydraulische Untersuchungen nachvollziehbar sind.

6.6 BEWÄSSERUNGSNETZ „ĞUFAINA“

Die Stau- und Ableitungsanlage „al-Mabnā“ im Wādī Ğufaina war während eines wesentlich längeren Zeitraumes in Betrieb als früher angenommen. Es ist naheliegend, daß sich aufgrund der langen Funktionsdauer von mindestens 3 Jahrhunderten eine deutliche Abgrenzung dieses eigenständigen Bewässerungsnetzes, dessen Überreste bis in unsere Zeit erhalten geblieben sind, zu der übrigen Nordoase herausbildete. Im Gelände ist diese Abgrenzung in Form einer Terrassenstufe deutlich erkennbar; dabei verringert sich der zu Beginn der Kanäle noch mehrere Meter betragende Höhenunterschied kontinuierlich. In der Nähe der antiken Stadtmauer der Stadt Mārib sind die beiden Bewässerungsnetze soweit angeglichen, daß eine Vernetzung der Systeme möglich war.

Im Rahmen der Felduntersuchungen wurden auf einer Teilfläche die erhaltenen Funktionselemente aufgenommen. Dazu wurde der am weitesten westlich gelegene Teilbereich ausgewählt, wo noch ein relativ geschlossener Überblick möglich war. Die z. T. sehr starke Erosion und vor allem die überall einsetzenden Arbeiten zur Rekultivierung und Wiederbewässerung grenzten die Arbeitsmöglichkeiten sehr stark ein.

Die Bewässerungsflächen des Ğufaina-Teilnetzes wurden durch 3 Hauptkanäle (KG1 – KG3) versorgt, die ihren gemeinsamen Ausgang in der Anlage „al-Mabnā“ besaßen. Dabei sind allerdings die zwischenzeitlich an der Anlage vorgenommenen Umbauten zu beachten, die dazu führten, daß KG2 und KG3 zum Zeitpunkt der Aufgabe des Bewässerungsbetriebes zusammen einen Auslaß nutzten und sich erst nach einer Strecke von etwa 1000 m in die älteren Trassen verzweigten.

Die Kanäle können mit Hilfe verschiedener Anzeichen verfolgt werden. In der engeren Umgebung

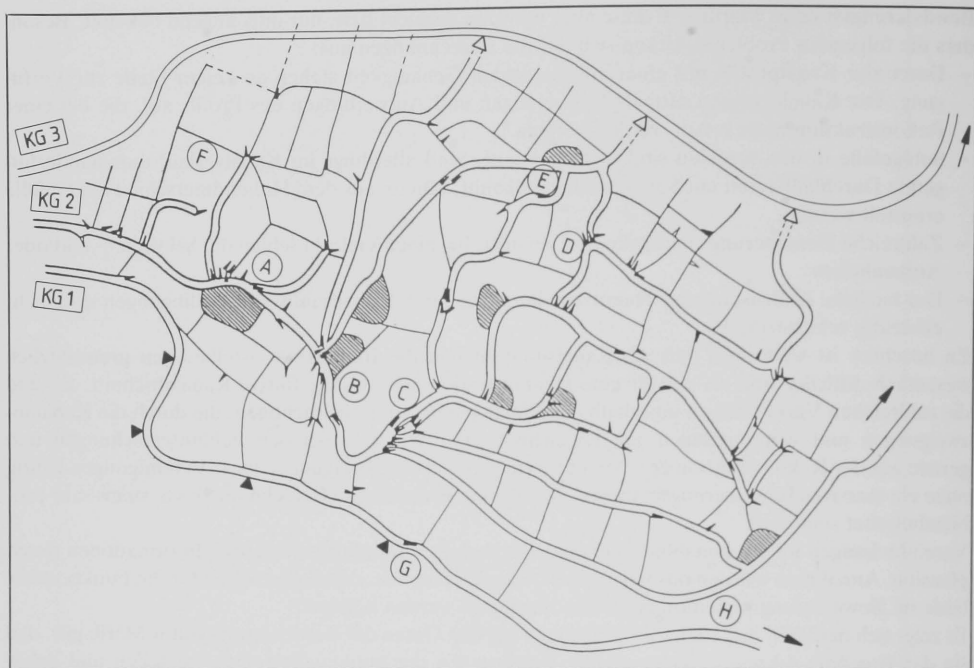


Abb. 66. Ausschnitt aus dem Bewässerungsnetz Ġufaina.

der Anlage „al-Mabnā“ sind zahlreiche Überreste von Mauerwerk und Putzmaterial in situ (vor allem bei Kanal KG3) erhalten; offensichtlich war in diesen Bereichen, die heute zu dem durchflossenen Wadiquerschnitt zählen, bereits zur antiken Betriebszeit eine massive Bauweise der Kanäle notwendig. Da die gesamte Anlage in einen bestehenden, freien Wadiquerschnitt hineingebaut wurde, mußte der erste Teil der Kanalstrecke entsprechend befestigt werden. Der Grund ist vermutlich auch in der zeitweisen Gefährdung durch Abflüsse zu sehen, die über die Hochwasserentlastung austraten. In den Bewässerungsflächen sind die Hauptkanäle durch Oberflächenformen und Sedimentreste umfangreich belegt.

Auffällig ist, daß für die 3 Hauptkanäle über eine Strecke von etwa 700 m im westlichsten Teil der Ġufaina-Bewässerungssedimente keine Kanalwandungen nachweisbar sind. Offensichtlich schlossen die Kanäle in diesem Bereich während der letzten Betriebsjahre des Systems ein Überflutungsbecken ein.

Das Ġufaina-Bewässerungsnetz verfügt nicht über eine dem bekannten Hauptverteiler der Nordoase vergleichbare Einrichtung. Es hat sich herausgestellt, daß stattdessen die Hauptkanäle KG1 – KG3 der Versorgung jeweils unterschiedlicher Teilflächen dienen.

Der Kanal KG3, der dem Auslaß A3 der Anlage „al-Mabnā“ zuzuordnen ist, verlief am Rand des Wadis, das ab der Anlage „al-Mabnā“ heute den Namen „Wādī Sā'ila“ führt, und versorgte östlich gelegene Bereiche. Er bildete vermutlich die Begrenzung der antiken Oase und sollte als Randkanal auch überschüssiges Wasser aus den von ihm passierten Bewässerungsflächen aufnehmen.

Der Kanal KG1 grenzte den westlichen Teil des Ğufaina-Netzes nach Süden ab und nahm dabei an mehreren Stellen überschüssiges Wasser aus dem Hauptverteilternetz auf. Der Kanal ist auf Teilstrecken in bestehende Oasensedimente eingegraben. Er trug ebenfalls nicht zur Versorgung des näher untersuchten West-Bereiches bei und diente der Versorgung von Bewässerungsflächen in der Nähe der Stadtmauer und von weiter entfernten, östlichen Flächen. Im Verlauf des Kanals wurde ein bedeutendes Durchlaßbauwerk vorgefunden, mit welchem der Abfluß im Kanal reguliert wurde und das aufgrund der großen Dimensionen Rückschlüsse auf den Kanal erlaubt.

Der mittlere Kanal KG2 war für die Versorgung der westlichen Teilflächen vorgesehen. Bereits in einer Entfernung von etwa 1,5 km zu der Anlage „al-Mabnā“ erreichte dieser Kanal nach seiner Neuanlage die Oberfläche der bestehenden Nordoase (Hauptverteiler-Netz), wobei an dieser Stelle eine Terrassenstufe vermutet werden muß. Durch mehrere Verteilerbauwerke ist belegt, daß von hier aus die Bewässerung des Ğufaina-Netzes begonnen wurde. Zahlreiche untergeordnete Kanäle dienten der weiteren Verteilung des Wassers innerhalb des Teilgebietes.

Die Abb. 66 zeigt eine Rekonstruktion des Kanalnetzes auf der Grundlage der Zustandsuntersuchungen der Bauwerke und der Topographie zum Zeitpunkt der Feldarbeiten. Luftbildauswertungen unterstützten die Analyse. Es ist erkennbar, daß der Kanal KG2 an den mit „A“, „B“ und „C“ bezeichneten Stellen auf größere Gruppen von Durchlaßbauwerken trifft. Bei „B“ ist erstmalig ein großer Durchlaß ($B = 2,6 \text{ m}$) im Kanalverlauf festzustellen, mit dem der Kanal abgesperrt oder reguliert werden konnte, um dadurch größere Abflüsse an den oberhalb gelegenen Auslässen zu ermöglichen. Zwischen „B“ und „C“ durchmißt der Kanal eine Kurve, dabei ist deutlich zu erkennen, daß hier die Fließstrecke bewußt verlängert wurde, so daß das Kanalgefälle bei der Überwindung eines größeren Höhenunterschiedes (z. B. an einer Terrassenstufe) nicht zu große Werte annehmen mußte. In der direkt anschließenden Bauwerksgruppe („C“) konnte der Kanal erneut gestaut werden. Darauf weisen auch die in mehreren Querschnitten erkennbaren, sehr grobgekörnnten Sedimente im Kanalbett hin. Der südlichste der bei „C“ abzweigenden Kanäle, der Wasser in die östlich anschließenden Teilgebiete transportierte, bildet die Fortsetzung von KG2. Sein Verlauf ist durch eine rezente Erosionsrinne gekennzeichnet.

Besonders hervorzuheben ist die ausgeprägte Terrassierung des Gebietes, welche in der Örtlichkeit sofort auffällt; in der nördlichen Hälfte bildet nahezu jedes Feld eine eigene Terrassenstufe. Diese bereits während der antiken Betriebszeit existierenden Höhenunterschiede sind sicher mit dafür verantwortlich, daß die Fläche durch zahlreiche Erosionsrinnen zergliedert ist. Eine Rekonstruktion des Kanalnetzes wurde dadurch erheblich erschwert.

Es gibt besonders im Ğufaina-Bewässerungsnetz mehrere Hinweise darauf, daß schon die Sabäer mit den durch ausgeprägte Rinnenerosion hervorgerufenen Problemen konfrontiert waren.

An der mit „D“ bezeichneten Stelle ist versucht worden, die zwischen den im Außenbereich einer Kanalkurve befindlichen Auslässen angreifende Erosion durch die Errichtung einer Mauer zu vermeiden. Die heutige Situation ist durch gerade hier sehr ausgeprägte Erosion gekennzeichnet (s. Tafel 18a).

Bei „E“ befindet sich ein Durchlaß auf dem Sohlniveau einer tiefen Erosionsrinne. Da die Bauweise (Schüttmauern mit Verputz) auf ein Entstehungsdatum während der letzten Betriebsperiode der Wasserkultur hinweist, können Rückschlüsse auf die Existenz dieser Rinne während der antiken Betriebszeit gezogen werden. Außerhalb des detailliert untersuchten Teilgebietes wurden auch an anderen randlich zum Wādī Ğufaina gelegenen Stellen Wasserbauwerke in Erosionsrinnen gefunden, die offensichtlich jungen Baudatums sind und z. T. beträchtliche Dimensionen aufweisen. Durch den Einbau dieser Bauwerke in bereits bestehende Rinnen sollte wohl die Fließgeschwindigkeit in den wahrscheinlich unbeabsichtigt entstandenen Rinnen herabgesetzt und die Erosion verringert werden. Gerade bei den größeren Bauten handelt es sich um Mauern mit der eindeutigen Funktion überström-

ter Wehre. Diese Bauwerke zur Reduzierung der Erosion gewinnen eine besondere Bedeutung durch den am Nordrand der Bewässerungsflächen vorbeiführenden Hauptkanal KG1. Sicher diente dieser auch dazu überschüssiges Wasser aus untergeordneten Kanälen aufzunehmen und weiterzuleiten; er war aber auch durch die sich rasch vergrößernden Erosionsrinnen in seiner Existenz stark gefährdet. Von dem Kanal KG3 sind im Bereich des rekonstruierten Netzes keinerlei Überreste erhalten. Das direkt vorbeiführende Wādī Ġufaina hat auch umfangreiche Teile der Oase erodiert, was durch die zahlreichen, nur noch als angeschnittene Teilflächen erhaltenen Felder belegt wird. Die in der Art eines Steilufers hoch aufragenden Sedimente deuten an, daß die Oase sich ursprünglich weiter nach Nordwesten erstreckte. Sicher waren die nordwestlich des Wādī Ġufaina verstreut liegenden Sedimente früher mit der Oase verbunden. Als Besonderheit ist zu erwähnen, daß in einer Erosionsrinne (bei „F“) das älteste bislang bekannte Durchlaßbauwerk („G 001“) entdeckt werden konnte (s. Tafel 18c). Als Baumaterialien sind Kalkstein und Konglomeratstein kombiniert, das Füllmaterial der beiden Pfeilerelemente bildet Basaltgeröll. An dem Bauwerk befinden sich in situ zwei Inschriften²⁵³, auf der einen sind Namen und Namensfragmente aufgeführt, auf der anderen, älteren steht: „sein ganzer Sekundärkanal“. Mit Hilfe dieser Inschriften kann der Durchlaß in die Zeit vor dem Felsdurchstich am Südbau S1/2 datiert werden, er entstammt also mindestens der Betriebsperiode III.

Die Begrenzung des Ġufaina-Bewässerungsnetzes fällt im Luftbild durch die Ausrichtung der Kanäle auf, die gegenüber der des Hauptverteileretzes verdreht ist²⁵⁴. Die Orientierung der Kanäle und Feldbegrenzungen wurde durch die Richtung der neuen Hauptkanäle vorgegeben. Zu erwähnen ist ein ungewöhnlich groß dimensioniertes Durchlaßbauwerk („G 115“) (s. Tafel 18 d), welches sich bei „G“ im Verlauf der den Ġufaina-Hauptkanal G1 markierenden Erosionsrinne befindet. Aufgrund der Abmessungen (durchflossener Querschnitt mit $B = 2,7$ m und $H = 4,2$ m) kann es nur zur Regulierung eines Hauptkanals gedient haben. Die Höhenlage der befestigten Durchlaßsohle (1177,52 m ü.M.) weist darauf hin, daß dieses Bauwerk funktionell in Verbindung steht mit den Überresten eines Kanals, die in einer Entfernung von etwa 300 m an einer Sedimentwand bei 1177 m ü.M. erhalten sind. Der daraufhin rekonstruierbare Kanal ist dem Hauptverteilersystem der Betriebsperiode II zuzuordnen; darauf weist auch die mit dem Hauptverteileretz harmonisierende Auslaßrichtung hin. Offensichtlich wurde das Bauwerk aber auch später während der Periode I zur Regulierung des jüngeren Kanals KG1 des Ġufaina-Systems genutzt. Dies wird durch ausgeprägte Kieshorizonte belegt, die sich im Durchlaßquerschnitt befinden und als Sedimentüberreste des Ġufaina-Systems an anderen Stellen belegt sind. Im Verlauf der Periode I trat der Durchlaß außer Funktion und wurde ein-sedimentiert; diese Sedimente überragen die Bauwerksoberkante um etwa 1 m.

Ein weiterer Hinweis auf das ältere Bewässerungsnetz ist in der oben erwähnten Erosionsrinne bei „E“ zu sehen, deren Richtung parallel zu dem bei „G“ rekonstruierten Kanal verläuft. Vermutlich wird dadurch ein Kanal der Betriebsperiode I nachgezeichnet.

Am Rande des rekonstruierten Teilgebietes befindet sich der bei Brunner²⁵⁵ erwähnte „wichtige Verteilerbau“ (s. Tafel 19 a). Diese Anlage wird von ihm richtigerweise wegen ihres tiefen Bauniveaus einer früheren Periode als der Betriebszeit von al-Mabnā zugeordnet. Aufgrund der großen Ausdehnung und der aufwendigen, diffizilen Ausgestaltung des Baus könnte man bei einer ersten Betrachtung auf ein Bewässerungsbauwerk großer Bedeutung schließen. Allerdings stellen sich bei näherer Untersuchung des Baukörpers, soweit er durch die Erosion freigelegt ist, erhebliche Zweifel an einer Einbindung in das Bewässerungsnetz ein. Die Gliederung der Anlage und der innere Aufbau der Mauerkörper, die aus Konglomeratquadern (vulkan. Brekzie) in erster Verwendung erstellt sind, können mit

253 Diese Inschriften wurden von W. W. Müller freundlicherweise übersetzt und zeitlich eingeordnet.

254 Dieser Umstand wurde bereits von Brunner erstmals festgestellt; vgl. Brunner: Erforschung, a. O. 63.

255 vgl. ebd., 82.

keinem der bekannten Bewässerungsbauwerke verglichen werden. Zweifel an dem Bewässerungszweck treten auch bei der Verbindung der Steinquader auf. Die einzelnen Blöcke sind offensichtlich aufeinander gesetzt und verfugt worden. Im Gegensatz dazu sind bei Bewässerungsbauten, die in vergleichbarer Technik errichtet sind, die Quader stets ohne Verbindung aufeinander gesetzt, was durch die heute zwischen den Steinen erhaltenen, meist geschichteten Bewässerungssedimente erkennbar ist.

Einen Hinweis auf eine Bewässerungsanlage könnten die Putzreste darstellen, welche an Teilen des Außenmauerwerks noch in situ erhalten sind (s. Tafel 19 b). Ehemals waren große Teile des Bauwerks verputzt. Dies wird dadurch belegt, daß größere Mauerpartien einen den früheren Putz anzeigenden, rötlichen Schimmer besitzen, während ungeschütztes Konglomeratgestein üblicherweise in einem durch Verwitterung verursachten, grauen Farbton vorgefunden wird. Der bei dieser Anlage verwendete Putz setzt sich nicht aus den von Bewässerungsbauten bekannten Inhaltsstoffen wie Kalk und Lavagrus zusammen, sondern besteht aus Lehm und Pflanzenbestandteilen, die mit bloßem Auge erkennbar sind. Die Härtung des Materials stand nicht – wie bei Kalkputz – im Zusammenhang mit Wasser, sie erfolgte vielmehr nur durch die intensive Sonnenbestrahlung. Die Tatsache, daß nur geringe Reste in situ erhalten sind, belegt die Unzweckmäßigkeit des Materials für ein Bewässerungsbauwerk, da dieser Putz keine dauerhafte Bindung mit dem Konglomeratuntergrund eingeht.

Aufgrund dieser Ausführungen erscheint es zumindest sehr zweifelhaft, ob mit dieser Anlage ein älterer Verteilerbau vorliegt. Eine Nutzung zu anderen als Bewässerungszwecken ist möglich, wenn nicht sogar wahrscheinlich. Die außerordentlich zahlreichen Knochenreste, die in einer Sedimentschicht direkt über dem Bau erhalten sind, deuten darauf hin, daß der Platz dieser Anlage auch während späterer Betriebszeiten eine besondere Bedeutung besessen haben muß. Eine eingehende Untersuchung sollte interessante Ergebnisse erwarten lassen.

Im Bewässerungsnetz „Ğufaina“ wurden Hinweise auf den Verlauf einer antiken Straße gefunden. Wie vor allem aus dem Luftbild deutlich wird, führt eine Oberflächenstruktur (Erosionsrinne) vom Westtor der antiken Stadt etwa in westlicher Richtung über die Oase. In dem Verlauf dieser Struktur befindet sich ein groß dimensioniertes Bauwerk²⁵⁶, welches aufgrund seiner außergewöhnlichen Konzeption als antike Brücke, die über einen Hauptkanal bzw. eine bereits bestehende Erosionsrinne führte, gedeutet werden kann. In der Verlängerung dieser Struktur in das breite Bett des Wādī Sā'ila und die Geröllfelder zwischen dem Oasenrand und dem Gibāl Diš al-Aswad wurden mehrere langgestreckte Mauerreste vorgefunden. Eine Deutung als Damm- oder Ableitungsanlage ist aufgrund der Lage und Anordnung unwahrscheinlich. Vielmehr kann auch damit ein Teil der antiken Straße identifiziert werden, die in dem sehr unwegsamen Gelände auf einem Damm geführt wurde. Möglicherweise war die Straße über der Pflasterung, die in ähnlicher Form auch von römischen Straßen bekannt ist²⁵⁷, noch mit einer weiteren, ausgleichenden Schicht ausgestattet²⁵⁸.

Aus der Umgebung von Širwāh sind ähnliche Reste einer Straße bekannt, die dem Transport von Alabaster von den Steinbrüchen nach Mārib gedient haben soll²⁵⁹. Es ist möglich, daß es sich bei der Straße um eine nördliche Route für die Verbindung Širwāh – Mārib handelt²⁶⁰.

256 Eine Abbildung ist zu finden in: ABADY I (1982), Tafel 20c.

257 vgl. W. Heinz: Straßen und Brücken im römischen Reich, Jona 1988, Abb. 23, 40, 63, (= Antike Welt, Sonderheft 1988).

258 Auch die trajanische Straße in Arabien war mit einer obersten Schicht aus gestampftem Lehm versehen. Vgl. ebd., 46.

259 Vgl. Fig. 24 in: ISMEO (Hrsg.): Activities 1986, a. O. 394.

260 Im Gegensatz zu einer Darstellung Wissmanns (vgl. v. Wissmann: Großreich, a. O. Abb. 89) muß die Hauptroute vom Hochland (Širwāh) nach Mārib nicht unbedingt durch das Wādī Danah geführt haben. Das Wadibett war für eine ganzjährig nutzbare Verbindung ungeeignet, befestigte, antike Straßen am Berghang sind bisher nur vom Südufer bekannt. Tatsächlich wurde die Staustelle wohl auf einem Paß nördlich umgegangen (Vgl. Karte 4 in: Glaser: Reise, a. O.).

6.7 BEWÄSSERUNGSNETZ „SÜDOASE“

Die Bedingungen für die Erforschung und Rekonstruktion des antiken Bewässerungsnetzes auf der Südoase sind auch aufgrund der umfangreichen rezenten Besiedlung ungleich schlechter als auf der gegenüberliegenden Nordoase. Eine zutreffende anschauliche Beschreibung der aktuellen Oberfläche gibt bereits Brunner²⁶¹.

Überreste von Bewässerungsanlagen (Kanäle, Bauwerke etc.) sind in sehr geringer Anzahl und dann fast immer in sehr schlechtem Erhaltungszustand vorhanden. Lediglich im äußersten Westen waren zum Zeitpunkt der Feldaufenthalte noch flächendeckende Untersuchungen möglich. Diese Bereiche sind z.Z. aufgrund der Erosionsrinnen noch unattraktiv für rezente Rekultivierungen.

Auf einer umfangreichen Teilfläche konnten die Maßnahmen der Landvorbereitung für einen neuen Bewässerungsbetrieb verfolgt werden. Dort gelang es, noch vor dem Einsetzen der Planier- und Räumarbeiten die zahlreichen Überreste von Funktionselementen der antiken Bewässerung und die vielfältigen Oberflächenformen zu erfassen²⁶². Einige Bauwerksgruppen sind zwar von der jemenitischen Antikenbehörde durch Umzäunungen vor dem Zugriff der Landwirte geschützt, jedoch können diese verstreut liegenden Überreste kein getreues Bild der antiken Kulturlandschaft vermitteln. Auf der sehr gut dafür geeigneten Fläche erfolgte bereits früher eine Detailkartierung durch Brunner²⁶³. Die Versorgung dieses Teilgebietes mit Bewässerungswasser wurde durch den am nördlichen Rand vorbeiführenden Bewässerungskanal 2. O. sichergestellt. Im Bereich des Kanals ist heute eine starke flächenhafte Erosion zu verzeichnen, aufgrund derer die Bauwerke gegenüber ihrer Umgebung erhöht sind. Mit zunehmender Nähe zum Abhang des Ġabal Balaq al-Awsaf wird der Erosionsbetrag geringer. Für den direkt am Hangfuß liegenden Bereich kann von einem Fehlen der Erosion ausgegangen werden, da die jüngsten Bauwerke noch sehr stark einsedimentiert sind (s. Tafel 19 c). Die Feldflächen geben also bzgl. der Höhen und Oberflächen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufgabe des Bewässerungsbetriebes wieder.

Die Durchlaßbauwerke sind in den bereits aus der Untersuchung der Nordoase bekannten Bautechniken erstellt. Vor allem entlang des übergeordneten Kanals 2.O. wurden Überreste von Bewässerungsbauwerken mit Schalenmauern in sehr schlechtem Zustand vorgefunden. Auffällig ist dabei zum einen, daß das Mauerwerk als verhältnismäßig grob – d. h. es wurde sehr verschiedenartiges Material relativ unsauber verarbeitet – bezeichnet werden muß, zum anderen, daß die Baukörper kaum mit feinerem, eingeschwemmtem Sediment ausgefüllt sind und keinerlei Hinweise auf die Verwendung von Putzmaterial existieren. Aus dem Vergleich mit Durchlässen auf anderen Oasenbereichen kann vermutet werden, daß diese Bewässerungsbauwerke zum Zeitpunkt der Aufgabe des Betriebes noch relativ neu waren und die Wasserspiegellagen in den Kanälen wesentlich überragten. Wahrscheinlich umfaßte der Funktionszeitraum zwischen Bau und Aufgabe der Bewässerung nur einige Jahre.

Die Feldauslässe, die sich vor allem im südlichen Teil der untersuchten Fläche befinden, sind in der bekannten Bauweise mit Schüttmauern ausgeführt. Aufgrund der geringen Erosion sind sie im Sediment sehr gut erhalten. Das verwendete Putzmaterial ist von guter, dauerhafter Qualität, was durch einen vergleichsweise geringen Anteil von Lavagrus zu erklären ist. Entsprechendes Baumaterial wurde auf der Nordoase nur bei Bewässerungsbauwerken angetroffen, die nicht während der letzten Phase in Funktion standen, sondern zum Zeitpunkt der Aufgabe der Bewässerungsflächen bereits einsedimentiert waren. Diese Beobachtung ist als wichtiger Hinweis darauf zu verstehen, daß die Einstel-

261 vgl. Brunner: Erforschung, a. O. 69.

262 Die Ergebnisse dieses Surveys wurden bereits von Hehmeyer vorgelegt; vgl. Hehmeyer: Bewässerungslandbau, a. O. Abb. 7.

263 vgl. Brunner: Erforschung, a. O. 101 f., Abb. 31.

lung des Bewässerungsbetriebes auf diesem Teil der Südoase deutlich früher als auf den untersuchten Teilen der Nordoase erfolgte.

Zusätzlich zu dem beschriebenen Teilgebiet wurden die Bauwerke in den westlich davon gelegenen Randbereichen erfaßt. Die Oasenfläche ist dort durch Erosionsrinnen sehr stark zerklüftet. Ausgedehnte Bereiche sind der erosiven Kraft eines Wadis, welches vom Abhang des Ġabal Balaq al-Awsaṭ zuströmt, anheimgefallen. Aufgrund dieser topographischen Merkmale ist das Gebiet bis zum heutigen Zeitpunkt nicht besiedelt und rekultiviert.

Direkt am Fuß des Ġabal Balaq al-Awsaṭ befindet sich ein auffälliger Hügel, der auch im Luftbild gut sichtbar ist. Dieser wird von v. Wissmann als Vulkan interpretiert²⁶⁴. Im Vergleich mit anderen Kratern, z. B. dem Ġabal Hamm und dem unter der Stadt Mārib vermuteten, erscheint diese Deutung zunächst möglich. Tatsächlich handelt es sich dabei um eine in auffälliger Weise austreichende Kalkplatte, die z. T. von Bewässerungssedimenten bedeckt ist.

Brunner²⁶⁵ lokalisiert in diesem westlichen Gebiet eine auch auf der Südoase vermutete Hauptverteileranlage. Tatsächlich befindet sich dort eine auffällige Anhäufung von 13 Durchlaßbauwerken an einem deutlich auszumachenden Kanalüberrest. Im Gegensatz zu der Hauptverteileranlage am Westrand der Nordoase ist hier allerdings nicht festzustellen, daß ein vom Südbau ankommender Hauptleitungskanal endete und der Abfluß restlos auf nachgeordnete Kanäle verteilt wurde. Vielmehr kann der eintreffende Kanal mitten durch die Bauwerksgruppen über eine Strecke von mehreren Kilometern eindeutig verfolgt werden. Er diente auch der Versorgung des oben beschriebenen Teilgebietes. Obwohl nicht von einer Hauptverteileranlage gesprochen werden kann, besaß diese Ansammlung von Bewässerungsbauwerken sicher eine besondere Bedeutung. Wenn das Bewässerungssystem der Südoase eine dem Hauptverteiler der Nordoase vergleichbare Anlage besaß, so kann diese nur auf den heute vollständig erodierten westlichsten Flächen gelegen haben.

Eine differenzierte Rekonstruktion eines Kanal- und Feldwallnetzes war in diesem Randgebiet aufgrund der stark ausgeprägten Erosionserscheinungen nicht möglich.

264 vgl. v. Wissmann: Mauer, a. O. Karte 3.

265 vgl. Brunner: Erforschung, a. O. Tafel 18b.

7. Überlegungen zur Datierung der sabäischen Bewässerungskultur

Angesichts der definierten Betriebsperioden I – VI ist eine relative und absolute zeitliche Einordnung von großem Interesse. Die Erstellung eines entwicklungsgeschichtlichen Überblickes über die Bewässerungskultur in Märib ist jedoch mit mehreren Schwierigkeiten verbunden. Eine mögliche Grundlage stellen die Kenntnisse der sich bedingenden Betriebsabläufe auf Nord- und Südoase sowie der Betriebsdauern der einzelnen Perioden dar.

Das Vorhaben, die Dauer der verschiedenen Betriebsperioden direkt durch Höhendifferenzen zwischen den Schwellen der Ableitungsbauwerke auszudrücken, mußte aufgegeben werden. Eine zweckmäßige Hilfe zur relativen Datierung stellen die Sedimentuntersuchungen dar. Aus jeweils mehreren Teilprofilen, die an verschiedenen Stellen der antiken Bewässerungsfläche in Erosionsrinnen aufgeschlossen sind, lassen sich für Nordoase- und Südoase Gesamtprofile erstellen, welche mit Hilfe der im Sediment erkennbaren Bankungen den Betriebsperioden bzw. -phasen zugeordnet werden können. Die Höhendifferenzen zwischen den Sohlschwellen der Auslaßbauwerke können den Betriebsperioden zugeordnet werden. Es zeigt sich aber, daß sie auch nach einer Verbesserung, die die verschiedenen Entfernungen „Ableitungsbauwerk aus dem Stauraum – Bewässerungsfläche“ berücksichtigt, nur in Einzelfällen mit den Höhen der entsprechenden Sedimentbänke zur Deckung gebracht werden können.

Bei einem Vergleich der in Sedimentprofilen auf Nord- und Südoase gleichermaßen erhaltenen Betriebsphasen I, II und III fällt auf, daß auf der Südoase für diese Perioden absolute geringere Mächtigkeiten vorliegen. Der Grund mag darin zu suchen sein, daß auf der Südoase mehrere Pausen des Bewässerungsbetriebes vermutet werden. Die Vorstellung einer Extensivierung des Bewässerungsbetriebes im Sinne niedrigerer Einstauhöhe mit der Folge geringerer Sedimentschichten kommt aus naheliegenden Gründen nicht in Frage, da der Pflanzenwasserbedarf bestimmte Bewässerungsgaben zwingend erforderte.

Weiterhin hat sich durch die Sedimentuntersuchungen gezeigt, daß Veränderungen an den Betriebsanlagen, also Um- und Neubauten, stets durch entsprechenden Handlungsbedarf auf nur einer der Oasen begründet werden können. Das hat zur Folge, daß die Erhöhung bzw. der Neubau jeweils eines Ableitungsbauwerks (zur Nord- oder Südoase gehörig) nicht nur durch Umstände im zugehörigen Bewässerungsnetz bedingt war, sondern auch durch Veränderungen am jeweils anderen Ableitungsbauwerk. Diese „auslösenden Ereignisse“ traten im Laufe der Gesamtbetriebszeit wohl auf beiden Oasen auf.

Die absolute zeitliche Einordnung der Betriebsperioden I und II ist mit Hilfe bekannter historischer Ereignisse möglich.

Die endgültige Aufgabe der sabäischen Bewässerungskultur kann mit einiger Sicherheit für die Wende vom 6. zum 7. Jh. n. Chr. festgelegt werden. Als im Jahr 575 die Abessinier aus Südarabien vertrieben wurden, standen die Anlagen noch in Funktion, andererseits wird in der 34. Sure des Korans, dessen

Inhalt zwischen 608 und 632 durch Prophet Mohammed verkündet, sehr eindringlich die Katastrophe des letzten Dammbrechens in Märib geschildert. Weniger aufgrund mangelnder technischer Realisierbarkeit als vielmehr wegen der stark gesunkenen wirtschaftlichen Bedeutung des einstigen Handelszentrums Märib und der zu diesem Zeitpunkt völligen politischen Bedeutungslosigkeit des südarabischen Raumes wurde von einem erneuten Wiederaufbau des Dammes abgesehen. Erstaunlicherweise waren Schäden an den Ableitungsbauwerken, die bis heute in gutem Zustand erhalten sind, nicht zu verzeichnen. Ein Wiederaufbau des Absperrrdammes wäre problemlos realisierbar gewesen, die Niveaurelation von Stauwasserspiegel und Bewässerungsflächen hätte noch einen längeren Betrieb zugelassen. Außerdem sind auch größere Reparaturmaßnahmen bereits früher mehrfach nachgewiesen. Der Beginn der Betriebsperiode I kann für das Jahr 23 v. Chr. angesetzt werden, welches auf den Abzug der römischen Truppen unter Aelius Gallus aus Märib folgt. Trotz der letztlich erfolglosen Belagerung hatten die Heerscharen aber die Bewässerungseinrichtungen weitgehend zerstört. Dies wird durch die daraufhin eingeleiteten umfangreichen Bau- und Reparaturarbeiten belegt. Weite Mauerpartien an Nordbau N1 und Südbau S1 sind zu diesem Zeitpunkt errichtet worden. Es ist nicht anzunehmen, daß derartig umfangreiche Baumaßnahmen lediglich Ausbesserungen bzw. einen gleichartigen Wiederaufbau ausdrücken. Diese Arbeiten sind mit großer Wahrscheinlichkeit dem Wechsel von Periode II zu Periode I gleichzusetzen.

Die Anfänge der Periode II sind zumindest für den Südbau durch Felsinschriften der Erbauer belegt, welche etwa aus dem Jahre 510 v. Chr. stammen. Die zu diesem Zeitpunkt errichtete Anlage S2 war sicher durch einen Absperrramm mit einer Ableitungsanlage N2 verbunden, deren genaue Lage und Aussehen allerdings noch nicht bekannt sind. Möglicherweise sind die Überreste in direkter Nachbarschaft zu dem Nordbau N1 zu suchen. Erstaunlich ist der Umstand, daß gerade in der 2. Hälfte des 6. Jhs. v. Chr. im griechischen Kulturkreis ein „Durchbruch im Wasserbau“²⁶⁶ festgestellt wird, wobei nicht klar ist, worauf dieser Aufschwung der technischen Kenntnisse zurückzuführen ist.

Für die älteren Betriebsperioden ist zu prüfen, ob weitere historische Vorgänge in der Umgebung bzw. im Einzugsgebiet des Wadis mit technischen Maßnahmen in Märib in Verbindung gebracht werden können. Möglicherweise haben Migrationsbewegungen stattgefunden, die sich auch auf Märib ausgewirkt haben. Es ist davon auszugehen, daß der Zuzug großer Bevölkerungsteile die Ausweitung der landwirtschaftlichen Bewässerungsflächen und damit möglicherweise auch den Neubau von Stau- und Ableitungsanlagen im Wadi ursächlich begründete.

Wenn aus den Sedimenthöhen und der Sedimentationsrate Jahreszahlen errechnet und mit bekannten, historischen Daten aus dem südarabischen Raum verknüpft werden sollen, stellt sich heraus, daß z. T. nur eine begrenzte Kongruenz vorliegt. Es wird deutlich, daß die jährliche Sedimentationsrate von 0,7 cm/a nicht über den gesamten Zeitraum als konstant angesehen werden kann, vielmehr sind gewisse langfristige Schwankungen dieses Wertes bzw. eine Erhöhung während der letzten Betriebsperiode anzunehmen.

Aussagen über die Betriebsperioden VI und eingeschränkt auch V können nur hypothetisch gemacht werden, da Sedimentprofile für diese Zeiten nicht untersucht werden konnten. Die erforderliche Extrapolation der Sediment-Zeit-Reihe ist mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Eine Verknüpfung des Sedimentationsgrades von 0,7 cm/a mit den Höhenunterschieden der Überfallschwellen in den älteren, bekannten Ableitungsbauwerken würde zwar zu eindrucksvollen Ergebnissen führen. Allerdings wiegen die Bedenken gegen eine solche Vorgehensweise schwer. Ein universeller Sedimen-

266 vgl. R. Tölle-Kastenbein, *Antike Wasserkultur* (1990) 200.

tationsgrad berücksichtigt nur ungenügend die Veränderungen des Sedimentationsverhaltens im Verlauf der einzelnen Betriebsperioden, noch wesentlicher ist die Tatsache, daß dieser Wert nicht auf die eventuellen klimatischen Veränderungen im Einzugsgebiet eingeht. Diese möglicherweise geringen Verschiebungen können bei der insgesamt sehr langen Gesamtbetriebszeit der Bewässerungskultur doch zu spürbaren Änderungen der Abtragungsvorgänge im Einzugsgebiet und damit der Sedimentationsvorgänge auf den Bewässerungsflächen führen. Zu bedenken ist auch, daß entsprechende Höhen-Zeit-Diagramme die möglichen Ausfallzeiten auf Teilen der Oasen bzw. auf Teilnetzen nicht berücksichtigen können. Die planmäßige Brache auf Teilen bzw. auf Teilnetzen der Oasen während eines Bewässerungsturnus, eines Jahres oder längerer Zeiträume ist aus den Sedimentprofilen nicht ablesbar. Die (Zusatz-) Bewässerung mit Grundwasser aus Brunnen (z. B. in Trockenzeiten) kann ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Festzuhalten bleibt, daß sich die 6 definierten Betriebsperioden der Bewässerungskultur Mārib schon bei einer überschlägigen Extrapolation bis in das späte 3. Jtsd. v. Chr. erstrecken. Dies deckt sich auch mit dem Wissen über den Bedeutungsanstieg des Handels auf dem innerarabischen Landweg, der Weihrauchstraße. Es erstaunt allerdings, daß die wahrscheinlich aus dieser Zeit stammende bekannte Ableitungsanlage der Periode VI, das Bauwerk S6, bereits einen Grad technischer Perfektion aufweist, der eine sehr lange Entwicklung mit zunehmender Erfahrung einschließt. Ob der Aufschwung der Wasserbauwerke in Mārib und in Südarabien in mehreren Vorstufen gleichmäßig mit der Entwicklung in kulturellen und politischen Bereichen einherging oder ob in diesem Raum durch andere Hochkulturen Entwicklungsarbeit geleistet wurde, kann bisher noch nicht bestimmt werden.

8. Zusammenfassung

STAU- UND ABLEITUNGSANLAGEN AUS DER BETRIEBSPERIODE I

Die bekanntesten Überreste der Bewässerungssysteme von Mārib stellen die Reste des letzten Staudammes und die erhaltenen Ableitungsbauwerke Nordbau N1 und Südbau S1 dar. Diese Anlagen wurden von dem Forschungsreisenden H. Glaser bereits 1888 besucht und durch einen ausführlichen Bericht und Zeichnungen überliefert. Schon immer waren es neben den Tempeln auf der Südoase besonders die imposanten Anlagen im antiken Dammbereich, die das Interesse von Forschern genossen.

Der letzte aus einer Folge jeweils höherer Erddämme ist in Resten noch bis in die heutige Zeit an den Stellen erhalten, wo das Wadi in den etwa anderthalb Jahrtausenden seit Aufgabe der Bewässerungskultur keine Zerstörungen bewirken konnte.

Diese Dammreste bezeugen, daß der letzte Damm im Bereich des Wadibettes eine Höhe von etwa 20 m erreicht hat. Der aus verfestigtem Sedimentmaterial bestehende Dammkörper war auf der dem Stauroaum zugewandten Seite mit einer sog. Stickung, d. h. mit grob behauenen Kalksteinquadern versehen, welche als erosionshemmende Böschungsbefestigungen dienen sollten.

Da aufgrund der Aufsedimentierung der Oasen immer höhere Wasserspiegelniveaus an den Ableitungsbauwerken und im Stauroaum notwendig wurden, mußten die Anlagen mehrfach höhere Standpunkte auf den Gebirgsabhängen einnehmen. Das hat am nördlichen Ufer dazu geführt, daß das jüngste Bauwerk, der Nordbau N1, etwa 350 m vom Ufer des Wadis entfernt ist. Im Gegensatz zum gegenüberliegenden Südbau ist die topographische Situation, wo ein natürliches Felsmassiv die Realisierung von Bauwerkserhöhungen auf engem Raum begünstigte, nicht so vorteilhaft.

Das sehr gut erhaltene Ableitungsbauwerk der letzten Periode N1 kann in zu unterschiedlichen Zeiten erstellte Funktionselemente aufgegliedert werden, dabei ist die Anlage insgesamt sehr viel jünger als Teile des Südbaus einzustufen. Einzelne Bauelemente des Nordbaus N1 sind wahrscheinlich mit einer geringeren Bauhöhe schon während der vorletzten Periode gemeinsam mit älteren, nicht erhaltenen Auslässen in Betrieb gewesen. Die am Nordbau erhaltenen Baukörper gliedern sich nach ihrer Funktion auf. Die in ihrer Höhe und Stärke mehrfach veränderte, möglicherweise auch vollständig erneuerte Abschlußmauer erfüllte die Funktionen „Hochwasserentlastung“ und „Ableitung von Bewässerungswasser in das Wādī Ġufaina“. Die beiden in das von einer Schwerkriegtsmauer und einem geschütteten, mit einer Stickung befestigten Damm gebildete Tosbecken einmündenden Auslässe besitzen massive Sohlschwelen aus Kalkstein und in den Widerlagern Nutungen, die allerdings nicht bis zu den Sohlschwelen hinabreichen, so daß die Auslässe mit eingelegten Balken in der Form von unterströmten Wehren betrieben werden konnten. Durch diese Balkenwehre wurde die Durchflußkapazität begrenzt, um den anschließenden Hauptkanal vor Beschädigungen durch Erosion zu bewahren. Durch hydraulische Berechnungen konnte nachgeprüft werden, daß während der letzten Betriebsperiode I das eintreffende Wasserdargebot mit Hilfe der erhaltenen Bauwerke sehr zweckmäßig zwischen den Teilbewässerungsnetzen, welche direkt vom Nordbau (via Hauptverteiler) und über die Anlage „al-Mabnā“ (Wādī Ġufaina) versorgt wurden, aufgeteilt wurde.

Der Südbau S1 besaß eine massive Schwergewichtsmauer, die den Dammanschluß bildete und sich heute noch mehr als 20 m hoch über der Wadisohle erhebt. Das Wasser trat am westlichen Ende dieser etwa 65 m langen Mauer über eine Sohlschwelle aus großformatigen Kalksteinquadern in ein Tosbekken ein.

An einem natürliche Felsformationen ausnutzenden Teilungsbauwerk wurde der aus dem Stauraum abgeleitete Abfluß aufgeteilt, um zum einen in den zur Südoase führenden Hauptkanal einzutreten, zum anderen in das Wadi zurückzufließen. Sowohl der westliche Durchlaß als auch der Durchlaß in das Wadi verlaufen im Zuge sehr früh angelegter Felsdurchstiche, die durch massive Mauern als Sohlschwellen in späteren Perioden erhöht bzw. wieder verschlossen wurden. Während im westlichen Durchlaß die Mauer erhalten ist, weisen in dem östlichen Felskanal zahlreiche Abarbeitungen, in denen die Quader ehemals verkeilt waren, auf die Existenz und die Abmessungen der Mauer hin. Südlich des Teilungsbauwerkes führte der Hauptkanal auf einer Strecke von etwa 200 m über die Felsabhänge, wobei die Ufer vom ansteigenden, natürlichen Fels und von einer durch Einarbeitungen belegten Schwergewichtsmauer gebildet werden. Die zu Kanalbeginn ansteigende Sohle war verputzt und ist heute noch in Teilen erhalten. In Sedimentblöcken ist die Fortsetzung des Hauptkanals bezeugt, der auf der weiteren Fließstrecke von Erdwällen begrenzt wurde. Der Betriebsablauf während der letzten Betriebsperiode kann so rekonstruiert werden, daß der Abfluß an dem Teilungsbauwerk zu etwa gleichen Teilen aufgespalten wurde, was durch hydraulische Berechnungen nachgewiesen werden konnte. Der ins Wādī Dana führende Auslaß stellte also nicht eine echte, dem Schutz der Dammanlage dienende Hochwasserentlastung dar; vielmehr wurde durch die planmäßige Ableitung der zur Südoase führende Hauptkanal vor zu großen, gefährlichen Abflüssen bewahrt, da die Leistungsfähigkeit dieses Kanals begrenzt war. Es ist zu vermuten, daß das in das Wadi abgeleitete Wasser mit Hilfe abwärts gelegener Anlagen wieder gefaßt und einer sinnvollen Nutzung zugeführt wurde.

ÄLTERE BAUWERKE ZUR WASSERABLEITUNG

Überreste älterer Stau- und Ableitungsanlagen sind an einigen Stellen schon länger bekannt (S6/5, N4, N5), wurden im Rahmen der Feldarbeiten neu identifiziert (S3, S4) oder wurden mit Hilfe von Hinweisen (z. B. durch Kanalreste) eingegrenzt (N2, N3).

Bei der Auswahl der jeweils sinnvollsten Rekonstruktion der funktionellen Einordnung der Bauanlagen wurde versucht, die Planungsgedanken der antiken Baumeister und Ingenieure nachzuvollziehen. Es ist z. B. festzustellen, daß die Bauwerksstandorte stets unter Berücksichtigung eines geeigneten Untergrundes ausgewählt wurden.

Als wichtigstes Kriterium wurde bei der Rekonstruktion die Erfüllung unverzichtbarer hydraulischer Bedingungen überprüft. Bei den Varianten in Verbindung mit Absperrrämeen wurde besonderer Wert auf die Gewährleistung der Hochwassersicherheit gelegt. Die Existenz leistungsfähiger Hochwasserentlastungen bei den Bauten der letzten Betriebsperiode I zeigt, daß die antiken Betreiber um eine Verminderung des Dammbruchrisikos bemüht waren. Dieses Bemühen kann durchaus auch für die älteren Betriebsperioden angenommen werden.

Diese älteren Bauanlagen dienten der Versorgung der Nord- und Südoase mit Bewässerungswasser während der Betriebsperioden II-VI. Die beschriebenen Bauwerke stellen sicher nicht die ältesten Anlagen der sabäischen Bewässerungskultur dar. Aufgrund der hervorragenden baulichen und technischen Ausführung auch des ältesten bekannten Bauwerkes S6 ist als sicher anzunehmen, daß eine lange Entwicklung zugrunde lag.

BAUANLAGE „AL-MABNĀ“

Diese im Wādī Ġufaina gelegene Stauanlage wurde während der Forschungsaufenthalte eingehend untersucht. Obwohl sie bereits von Glaser 1888 beschrieben und skizziert worden war, wurde sie vom Interesse späterer Besucher vernachlässigt. Aufgrund der Ermittlungen anhand der durch die Anlage des Wadis abgetrennten Sedimentflächen und besonders durch die Sedimente, die erst mit Hilfe dieser Anlage im Bewässerungswasser verteilt werden, konnte eine Betriebsdauer von etwa 300 Jahren festgestellt werden.

Das von der Abschlußmauer des Nordbaus N1 eintreffende Wasser wurde nicht mittels eines Erddammes angestaut, sondern der relativ schmale Wadieinschnitt wurde mit einer Mauer aus Lavageröll und Verputz abgesperrt. Mit einer zweiten Mauer wurde der Zufluß auf einen Auslaß mit anschließendem Hauptkanal konzentriert. Bei einem Abfluß von $24 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde die mittlere Mauer überströmt und das Wasser trat in ein weiteres Becken ein, wo durch einen Auslaß ein zweiter Hauptkanal gespeist wurde. Ab einer Zuflußmenge von $90 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde die dritte Mauer überflutet und diente so als Hochwasserentlastung. Aus einem weiteren Auslaß, der an dem östlichen Becken gelegen war, wurde wohl ein Hauptkanal zu den Bewässerungsfeldern Dār as-Saudā³ versorgt.

Lediglich die Auslässe sind in der von den anderen Großbauwerken bekannten Bauart aus wiederverwendeten Kalksteinquadern (Spolien) errichtet. Die Mauern bestehen dagegen aus Lavageröll mit verputzten Außenwänden, was auf eine spätere Periode als Entstehungszeitpunkt der Anlage hindeutet. Ein ehemaliger, verschlossener Auslaß deutet darauf hin, daß auch bei dieser Anlage Variationen in der Konzeption und dadurch bedingte, umfangreiche bauliche Änderungen durchgeführt wurden. Der Grund dafür kann allerdings nicht in der sedimentationsabhängigen Erhöhung der Kulturflächen gesehen werden, da Aufbauten oder Erhöhungen der einzelnen Baukörper von „al-Mabnā“ nicht vorgefunden wurden. Vielmehr war die Anlage in ihrer ersten Konzeption wohl nicht geeignet, die aus dem Einzugsgebiet des Wādī Ġufaina und die über die Abschlußmauer am Nordbau tretenden Hochwasserspitzen langfristig zu bewältigen. Auch die bei den Sedimentuntersuchungen ermittelte Tatsache, daß die Anzahl der direkt von „al-Mabnā“ gespeisten Hauptkanäle auf dem ersten Streckenabschnitt von 3 auf 2 verringert wurde, kann als Hinweis auf Beschädigungen durch Hochwasserereignisse verstanden werden.

Die Anlage „al-Mabnā“ wurde im Rahmen der Feldarbeiten nach hydraulischen Gesichtspunkten untersucht und vermessen. Funktionelle Details und Besonderheiten waren ebenfalls von Interesse. Eine steingerechte Aufnahme des Gesamtbauwerks wurde wegen der großen Ausdehnung der Bauteile bisher nicht durchgeführt. Durch eine derartige Detailanalyse und bauhistorische Untersuchungen können noch interessante und wichtige Erkenntnisse gerade über die Entwicklungsgeschichte des Baus und über Veränderungen erwartet werden.

Es muß aufgrund der Klärung der hydraulischen Funktionsabläufe im Rahmen des letzten Bauwerkszustandes unterstrichen werden, daß die Anlage „al-Mabnā“ einen wichtigen Funktionsbestandteil des Gesamtsystems „Bewässerungskultur Mārib“ während der letzten Betriebsperiode I darstellte.

BEWÄSSERUNGSANLAGEN AUF DEN OASEN

Ein weiterer Schwerpunkt der ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten lag in der Untersuchung der Kanalreste und der Kleinbauwerke im Bewässerungssystem. Zweckmäßigerweise wurden die Arbeiten getrennt für die Teilsysteme Nordoase und Südoase durchgeführt, wobei sich im Laufe der Arbeit eine separate Untersuchung der Bewässerungsanlagen, die von „al-Mabnā“ versorgt wurden, als notwendig erwies.

BEWÄSSERUNGSNETZ „NORDOASE – HAUPTVERTEILER“

Die sich bei einer ersten Betrachtung als Einheit darstellende Nordoase muß funktionell während der letzten Betriebsperiode in zwei große Teilnetze aufgeteilt werden. Der etwas größere Teil (1800 ha) wird von den westlich und zentral gelegenen Flächen gebildet, welche ihr Bewässerungswasser direkt aus den Auslässen des Nordbaus erhalten. Dieses Wasser wurde durch den 1200 m langen Zuleitungskanal in den sog. Hauptverteiler geleitet, wo man es auf 8 Hauptkanäle aufteilte, die dann Teilgebiete mit Wasser versorgten. Diese Verteilung im Hauptverteiler konnte bedarfsabhängig reguliert werden. Im Rahmen der Feldarbeiten wurden auf einer Fläche von über 700 ha im Westen der Nordoase mehr als 750 Einzelbauwerke untersucht und vermessen. Sie befanden sich in sehr unterschiedlichen Erhaltungszuständen, da sie zum einen der jahrtausendelangen Erosion ausgesetzt waren, zum anderen heute verstärkt für den Neubau von Wohnhäusern in Anspruch genommen werden. Die größte umfassende Gefährdung stellt allerdings für die Bauten und die gesamte mit Kanalresten und interessanten Oberflächenformen übersäte Kulturfläche die Rekultivierung im Zuge der landwirtschaftlichen Neuerschließung dar. Glücklicherweise war dieser Prozeß zum Zeitpunkt der Untersuchungen (1983/84) erst in seinen Anfängen.

Durch eine Vielzahl von Bauwerken und anderen Informationen eignete sich der Westteil der Nordoase besonders gut für eine Rekonstruktion des Bewässerungsnetzes im letzten Betriebszustand, also zum Zeitpunkt der Aufgabe der Funktionssysteme. Nahezu sämtliche an der Oberfläche ganz oder lediglich als Überreste erhaltenen Durchlaßbauwerke sind dieser letzten Periode zuzurechnen, so daß das Bewässerungsnetz plausibel rekonstruiert werden konnte. Die Versorgung aller Feldflächen konnte gegliedert werden, wobei das Bewässerungswasser entweder durch ein Auslaßbauwerk einem Kanal entnommen oder ebenfalls durch ein Bauwerk aus einem anderen Feld übergeleitet wurde. Eine übersichtliche, klare Gliederung des Netzes ist nicht immer erkennbar, was möglicherweise darauf hinweist, daß die Bewässerung und die Wasserverteilung in Kanälen niederer Ordnung zumindest während der letzten Betriebsperiode privat organisiert waren. Überleitungen und Kanalverbindungen, also Netzverknüpfungen, sind mehrfach anzutreffen. Dadurch wurden die Verteilung innerhalb des Netzes erleichtert und die Steuerungsmöglichkeiten des Hauptverteilers ergänzt. Abflüsse, die im jeweiligen Teilnetz nicht zur Bewässerung benötigt wurden, konnten in andere Kanäle eingeleitet werden. Hydraulische Berechnungen und die Rekonstruktion von Betriebsabläufen werden allerdings durch die komplizierten Zusammenhänge wesentlich erschwert.

Mit Hilfe der Höhenvermessungen wurde weiterhin festgestellt, daß die Bewässerungsbauwerke zwar derselben Betriebsperiode zuzuordnen sind, jedoch z. T. stark differierende Sohlschwelhöhen aufweisen. Diese Höhenunterschiede zeigen jedoch keinerlei Abhängigkeit zur Stellung der Bauwerke innerhalb des Kanalnetzes, wie zu Beginn der Untersuchungen vermutet wurde. Vielmehr weist diese Tatsache in Verbindung mit der variantenreichen und immer unterschiedlichen Bauausführung darauf hin, daß während der letzten Betriebszeit die übergeordnete Planung nicht bis in den Bereich der Kanäle niederster Ordnung und der Feldauslässe reichte. Die Bauwerke untergeordneter Bedeutung wurden wohl nach Bedarf verändert oder erneuert, so daß bedingt durch den jeweils unterschiedlichen Sedimentationszustand abweichende Schwellenhöhen vorgefunden werden. Diese verschiedenen Schwellen weisen darauf hin, daß die Abflüsse in der Mehrzahl, wenn nicht sogar in allen Bauwerken in Abhängigkeit vom jeweiligen Dargebot und Bedarf reguliert wurde. Der Wasserspiegel in den Kanälen wurde unter Zuhilfenahme der Wehre in den Kanalverläufen abschnittsweise angehoben, um die teilweise relativ hoch liegenden Schwellen überhaupt erreichen zu können. Dadurch konnte auch bei niedrigen Zuflüssen eine effektive Bewässerung von Teilflächen durchgeführt werden. Regeln oder Gesetzmäßigkeiten bei den Bewässerungsabläufen können aus den Untersuchungen des Bewässerungsnetzes kaum erkannt werden. Die Anforderungen der Landwirtschaft (Pflanzenwasserbedarf) konnten mit den Funktionselementen des Bewässerungsnetzes grundsätzlich realisiert werden. Begrenzend wirkte jedoch stets das zur Verfügung stehende Wasserdargebot.

Für das Erkennen dieser Zusammenhänge reichte die Bearbeitung eines Teilbereichs von 700 ha aus. Aufgrund des zeitlichen und personellen Rahmens mußte von vergleichbaren Untersuchungen im Gesamtsystem abgesehen werden. Die Ergebnisse können zweifellos auf die Gesamtfläche übertragen werden.

Über ältere Betriebsperioden können kaum Aussagen gemacht werden. Nur wenige Bewässerungsbauwerke sind in den Erosionsrinnen freigelegt. So können zwar einige Erkenntnisse gewonnen werden über Baumaterialien und -stil, die funktionellen Zusammenhänge in älteren Systemen bleiben unklar, da die geringe Zahl und die Verteilung der Bauten keine Schlüsse ermöglichen.

BEWÄSSERUNGSNETZ „ĞUFAINA“

Das Bewässerungsnetz „Ğufaina“ erstreckt sich während der letzte Betriebsperiode auf den östlichen Teil der Nordoase. Es wurde ein Teilbereich dieses Netzes untersucht, zu dessen Versorgung die Anlage „al-Mabnā“ diente. Bauwerke und Oberflächenformen waren ebenso zahlreich erhalten wie auf dem Westteil der Nordoase. Die zerstörenden Wirkungen der aktuellen Rekultivierungen steckten jedoch die Grenzen des Untersuchungsgebietes ab.

Ein grundsätzlicher Unterschied zum System des Westteils der Nordoase besteht darin, daß die Aufteilung des Wasserdargebots nicht mit Hilfe einer Hauptverteileranlage geschah. Das Kanalnetz besaß drei Hauptkanäle, welche ehemals direkt von „al-Mabnā“ gespeist wurden. Den drei Kanälen waren klare Teilflächen zugewiesen, so daß zwei davon das Bewässerungsgebiet des dritten, welches als Untersuchungsfläche diente, unbeeinflusst passierten. Auffällig ist eine Gliederung der Oberfläche durch zahlreiche Terrassen, daraus resultierten erosionsbegünstigende, große Sohlgefälle der Kanäle. Die Bewässerungseinrichtungen des Teilsystems „Ğufaina“ waren wie „al-Mabnā“ nur während des größten Teils der letzten Betriebsperiode I in Betrieb. Die Flächen wurden vorher direkt vom Nordbau bzw. seinem Vorgängerbau versorgt, die neuen Anlagen mußten also auf bestehenden Sedimenten angelegt werden. Die Abgrenzung zwischen den beiden Netzen bildet auch heute noch eine lange Terrassenstufe. Erst nach einigen Kilometern, in der Nähe der Stadt Mārib, waren die Höhen angeglichen, hier wurde das restliche Wasser des Hauptverteiler-Kanalsystems in das Netz von „Ğufaina“ eingeleitet.

BEWÄSSERUNGSANLAGEN AUF DER SÜDOASE

Die wenigen Teilflächen der Südoase, die überhaupt Aussagen erwarten ließen, wurden in die Untersuchungen mit einbezogen. Aufgrund der sehr fortgeschrittenen aktuellen Besiedlung stand nur noch ein kleines Gebiet am Westrand, also zu Beginn der antiken Bewässerungsflächen, zur Verfügung. In diesem Arbeitsgebiet setzten noch während der Untersuchungen die Abräumungs- und Planierungsarbeiten im Rahmen der Landvorbereitung für einen zukünftigen Bewässerungsbetrieb ein.

Eine Hauptverteileranlage konnte nicht gefunden werden. Die Verteilung aus dem Hauptkanal wurde in Bauwerksgruppen realisiert, die der Hauptkanal unbeeinflusst passierte. Die Bauwerke entsprechen von ihrer Funktion her denen der Nordoase. Aufgrund der stilistischen Merkmale und der Verwendung der Baumaterialien kann allerdings gesagt werden, daß der Bewässerungsbetrieb auf der Südoase bereits eher eingestellt worden sein muß, da die in den letzten, oberen Schichten vorgefundenen Bauten sämtlich älteren Ursprungs sind. Dies wurde auch durch eine Inschrift an einem Auslaßbauwerk bestätigt.

Es muß an dieser Stelle nochmals betont werden, daß die Bewässerungsbauwerke nebst Kanälen und Feldwällen sowie die vielfältigen Oberflächenformen auf den Oasen ganz besonders durch die Inan-

sprachnahme für aktuelle Rekultivierungsvorhaben gefährdet sind. Während der Feldaufenthalte mußte mit Bestürzung festgestellt werden, wie rasch die Zerstörung der unersetzlichen Überreste der sabäischen Bewässerungskultur voranschreitet.

DATIERUNG DER SABÄISCHEN BEWÄSSERUNGSKULTUR

Bei einer zeitlichen Einordnung der Betriebsperioden ist zu beachten, daß eine Verschneidung der Höhendifferenzen zwischen den Ableitungsbauwerken mit den zugehörigen Sedimenthöhen und das direkte Ablesen von Zeiteinheiten nur in Ausnahmefällen möglich sind. Dafür sind mehrere Gründe verantwortlich:

- Um- bzw. Neubauten von Bewässerungsbauwerken wurden i.d.R. für Nord- und Südoase gemeinsam durchgeführt, auch wenn die technischen Gründe nur Veränderungen an einem Bauwerk erforderlich machten,
- Die Bewässerungsanlagen auf Nord- und Südoase waren während der Betriebsperioden nicht über die gleiche Dauer in Betrieb. Es ist nachweisbar, daß der Betrieb auf dem Westteil der Südoase wesentlich früher eingestellt wurde als auf der Nordoase. Die möglichen Ausfallzeiten auf Teilen der Oasen können nicht aus den Sedimenten ermittelt werden.
- Es ist anzunehmen, daß die ermittelte, jährliche Sedimentationsrate von 0,7 cm/a mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist und für große Zeiträume nur als Schätzwert Verwendung finden sollte. Besonders die Extrapolation zur Betrachtung der frühen Betriebsperioden ist problematisch, da der Sedimentanteil im Bewässerungswasser aufgrund klimatischer Veränderungen im Einzugsgebiet zumindest langfristigen Schwankungen unterworfen war.

Die jüngeren Betriebsperioden lassen sich durch historische Ereignisse absolut eingrenzen. Das völlige Ende der sabäischen Bewässerungskultur kann mit einiger Sicherheit für die Wende vom 6. zum 7. Jh. n. Chr. festgelegt werden. Im Jahr 575 waren die Anlagen zwar noch in Funktion, aber in der 34. Sure des Korans, welcher bis 632 durch Prophet Mohammed verkündet wurde, wird die Katastrophe des letzten Dammbrechens erwähnt.

Der Beginn der Betriebsperiode I ist etwa im letzten Viertel des 1. Jh. v. Chr. anzusetzen, welches auf den Abzug der römischen Truppen aus Märib folgt. Trotz der erfolglosen Belagerung waren die Bewässerungseinrichtungen stark zerstört.

Der Beginn der Periode II ist für den Südbau durch Felsinschriften belegt, welche in das Jahr 510 v. Chr. datiert werden können.

Trotz gewisser Unsicherheiten kann festgestellt werden, daß die 6 Betriebsperioden der Bewässerungskultur Märib bereits bei einer überschlägigen Extrapolation bis in das späte 3. Jtsd. v. Chr. reichen. Bemerkenswert ist dabei, daß die älteste, bekannte Ableitungsanlage, das Bauwerk S6 aus der Periode VI, einen Standard besitzt, der nur auf eine vorausgegangene, längere Entwicklung zurückzuführen sein kann. Es bleibt die Frage zu klären, ob die notwendigen älteren Kulturperioden in Märib nachweisbar sind oder ob die wesentlichen Erfahrungen auf anderen Wegen dorthin gelangten. Fest steht, daß der bewußte Umgang mit dem Wasser die unabdingbare Voraussetzung für alle Lebensreiche darstellte.

Literaturverzeichnis

- ALBRIGHT, F. P. – BOWEN, R. LE BARON, *Archaeological Discoveries in South Arabia*, Baltimore 1957.
- AL-SAYARI, S. S. – ZÖTL, J. G. (Hrsg.), *Quaternary Period in Saudi-Arabia*, Vol. 1, Wien – New York 1978.
- ARNAUD, TH., *Plan de la Digue et de la Ville de Mareb*, in: *Journal Asiatique*, 7^{me} serie, Bd. 3, 1874, 1-16.
- BAUMGARTNER, A. – REICHEL, E., *Die Weltwasserbilanz*, München – Wien 1975.
- BETZLER, E., *Sozialer Umbruch und Kulturlandschaftswandel in Südarabien*, Wiesbaden 1987.
- BRICE, W. C. (Hrsg.), *The Environmental History of the Near and Middle East since the Last Ice Age*, London 1978.
- BRUNNER, U. – HAEFNER, H., *Altsüdarabische Bewässerungsoasen*, in: *Die Erde* 1990, 135-153.
- BRUNNER, U., *Antike Bewässerungsgebiete im Jemen*, in: *Jemen-Report* 22 (1991), 11-17.
- BRUNNER, U., *Die Bausteine der Sabäer*, in: *Münchner Beiträge zur Völkerkunde* 2 (1989), München 1990, 27–42.
- BRUNNER, U., *Die Erforschung der antiken Oase von Märib mit Hilfe geomorphologischer Untersuchungsmethoden*, Mainz 1983, (= ABADY II).
- BRUNNER, U., *Vorläufiger Bericht über morphologische Untersuchungen im Raum Märib*, in: *ABADY I* (1982), 55-63.
- DAUM, W. (Hrsg.), *Jemen*, Innsbruck – Frankfurt 1987.
- DAUM, W. (Hrsg.), *Die Königin von Saba*, Stuttgart – Zürich 1988.
- DAYTON, J., *A Discussion on the Hydrology of Märib*, London 1979, in: *PSAS* 9, 124-129.
- DE MAIGRET, A., *Die Bronzezeit des Jemen*, in: W. Daum (Hrsg.), *Jemen*, Innsbruck – Frankfurt 1987, 39-49.
- DE MAIGRET, A., *Die Sabäer vor der Königin von Saba*, in: W. Daum (Hrsg.), *Die Königin von Saba*, Stuttgart – Zürich 1988, 36–39.
- DEQUIN, H., *Arabische Republik Yemen*, Riyadh 1976.
- DEQUIN, H., *Eine Wasser-Kultstätte am Staudamm von Märib im Jemen*, in: *Orient* 586, 1968, 164–167.
- DOE, B., *Südarabien*, Bergisch-Gladbach 1975.
- ELEKTROWATT AG, *Märib Dam and Irrigation Project*, Zürich 1978.
- ENDESFELDER, E., *Zur Frage der Bewässerung im pharaonischen Ägypten*, in: *ZÄS* 106 (1976), 37-51.

- ESCHER, H. A., Wirtschafts- und sozialgeographische Untersuchungen in der Wadi Mawr Region, Arabische Republik Jemen, Wiesbaden 1976.
- EYTH, M., Das Wasser im Alten und Neuen Ägypten, Berlin 1891.
- FAKHRY, A., Archaeological Journey to Yemen, Cairo 1952.
- FEDELE, F. G., Die Jungsteinzeit im Nordjemen, in: W. Daum, (Hrsg.): Jemen, Innsbruck – Frankfurt 1987, 35-38.
- FINSTER, B., Die Stadtmauer von Märib, in: ABADY III, 1986, 73-97.
- FLOHN, H., Klimaprobleme am Roten Meer, in: Erdkunde 19, 1965, 179-191.
- GERMER, R., Flora des Pharaonischen Ägypten, Mainz 1985.
- GLASER, E., Eduard Glasers Reise nach Märib, Wien 1913, hrsg. v. D. H. Müller; N. Rhodokanakis.
- GOLVIN, J.-C. – GOYON, J.-C., Karnak, Ägypten – Anatomie eines Tempels, Tübingen 1990.
- HABSUS, H., Travels in Yemen, Jerusalem 1941, hrsg. v. S. D. Gotein.
- HALÉVY, J., Études sabéennes, Paris 1873/74.
- HEHMEYER, I., Der Bewässerungslandbau auf der antiken Oase von Märib, Mainz 1991, (= ABADY V).
- HEHMEYER, I., Irrigation Farming in the Ancient Oasis of Märib, in: PSAS 19 (1989), 33–44.
- HEINZ, W., Straßen und Brücken im römischen Reich, Jona 1988, (= Antike Welt, Sonderheft 1988).
- HERBERG, W., Baukomplex B im Wādī Dana, in: ABADY III (1987), 33-57.
- HERBERG, W., Beobachtungen an Bauanlage C und nahe gelegenen Wasserwirtschaftsbauten im Wādī Dana, in: ABADY IV (1988), 121-131.
- HERBERG, W., Vorläufiger Bericht über baugeschichtliche Untersuchungen der Bauanlage A im Wādī Dana, in: ABADY IV (1988), 98-121.
- IsMEO (Hrsg.), Archaeological Activities in the Yemen Arab Republic, 1985, in: East and West, 35 (1985), 338-353.
- IsMEO (Hrsg.), Archaeological Activities in the Yemen Arab Republic, 1986, in: East and West, 36 (1986), 376-423.
- JADO, A. R. – ZÖTL, J. G. (Hrsg.), Quaternary Period in Saudi Arabia, Vol. 2, Wien – New York 1984.
- JUNGFER, E., Grundwasserergänzung und Grundwassernutzung in den Wüsten des Jemen, in: GR 39 (1987), 408-421.
- KEIMER, L., Die Gartenpflanzen im Alten Ägypten I, Hamburg 1934.
- KEIMER, L., Die Gartenpflanzen im Alten Ägypten II, Mainz 1984, hrsg. v. R. Germer.
- LAMPRECHT, H.-O., Opus caementitium – Bautechnik der Römer, Düsseldorf 1985².
- MAKTARI, A. M. A., Water Rights and Irrigation Practices in Lahj, Cambridge 1971.
- MARCOLONGO, B. – PALMIERI, A., Environmental Modification and Settlement Condition in the Yalā Area, Sana 1989.
- MATHIEU, K., Baubeschreibung der Schleusendurchlässe am Nord- und Südbauwerk des Großen Dammes von Märib, in: ABADY III (1987), 20-33.

- MATHIEU, K., Das Hauptverteilerbauwerk auf der antiken Nordoase von Mārib, in: ABADY III (1987), 3-20.
- MERCKEL, C., Die Ingenieurtechnik im Alterthum, Berlin 1899.
- MÜLLER, W. W., Bemerkungen zu einigen von der Yemen-Expedition 1977 des DAI aufgenommenen Inschriften aus dem Raum Mārib und Barāqīš, in: ABADY I (1982), 129-134.
- MÜLLER, W. W., Skizze der Geschichte Altsüdarabiens, in: W. Daum (Hrsg.), Jemen, Innsbruck – Frankfurt 1987.
- PRESS – BRETSCHNEIDER, Hilfstafeln zur Lösung wasserwirtschaftlicher Aufgaben, Berlin – Hamburg 1974¹⁰.
- RADERMACHER, H. – HEHMEYER, I. – PIWONKA, W. – SCHALOSKE, M. – TISCHBEIN, B. – WAGNER, W., Die Wasserkulturen der Sabäerhauptstadt Mārib, Bonn 1987, (unveröffentlichter Forschungsbericht).
- RATHJENS, C. sen. u. a., Beiträge zur Klimakunde Südwest-Arabiens, Hamburg 1956.
- RATHJENS, C., Sabaeica, II. Teil, Hamburg 1955.
- RATHJENS, C. – WISSMANN, H. V., Vorislamische Altertümer, Hamburg 1932.
- REMMELE, G., Die Niederschlagsverteilung im Südwesten der Arabischen Halbinsel, in: Erdkunde 43 (1989), 27-36.
- RITTER, C., Die Erdkunde im Verhältniß zur Natur und zur Geschichte des Menschen, Bd. 12, Berlin 1846².
- ROBIN, CH., Quelques Observations sur la Date de Construction et la Chronologie de la Premiere Digue de Mārib, d'après les Inscriptions, in: PSAS 18 (1988), 95-114.
- RYCKMANS, J., Le Barrage et les Jardins du Royaume de Saba³, o. O. o. J..
- SCHENKEL, W., Die Bewässerungsrevolution im Alten Ägypten, Mainz 1978.
- SCHMIDT, J., Baugeschichtliche Untersuchungen an den Bauanlagen des großen Dammes von Mārib, in: ABADY I (1982), 9-20.
- SCHMIDT, J., Die älteren Bauanlagen im Wādī Dana, in: ABADY I (1982), 20-25.
- SCHMIDT, J., Tempel und Heiligtum von al-Masāḡid, in: ABADY I (1982), 135-141.
- SCHMIDT, M., Gerinnehydraulik, Wiesbaden 1957.
- SCHNEBEL, M., Die Landwirtschaft im hellenistischen Ägypten, München 1925.
- SCHOCH, R., Die antike Kulturlandschaft des Stadtbezirkes Saba³ und die heutige Oase von Mārib in der Arabischen Republik Jemen, in: Geographica Helvetica 1978, 121-129.
- SCHOCH, R., Die Wasserbauten auf der Nordoase, in: ABADY I (1982), 25-33.
- SERJEANT, R. B., Some Irrigation Systems in Hadramawt, London 1964.
- SIEWERT, H., Antike Bewässerungsbauten der yemenitischen Landwirtschaft, in: ABADY I (1982), 181-196.
- SIEWERT, H., Bauten der Wasserwirtschaft im Yemen, in: BaM 10 (1979), 168-178.
- STRAUB, R., Böden als Nutzungspotential im System der semiariden Tropen, Wiesbaden 1986.
- TÖLLE-KASTENBEIN, R., Antike Wasserkultur, München 1990.
- VAN BEEK, G. W., Marginally drafted, pecked Masonry, in: F. P. Albright – R. Le Baron Bowen, Archaeological Discoveries in South Arabia, Baltimore 1957.
- VINCK, F., Alte Talsperren im Jemen, in: Wasser und Boden 1962, H. 10, 354-356.
- VITRUVIUS, De architectura libri decem, Darmstadt 1976.

- WADE, R., Archaeological Observations around Märib, in: PSAS 9 (1979), 114-123.
- WAGNER, W., Bodenkundliche und sedimentologische Untersuchungen an den anthropogenen Oasenablagerungen der Sabäerhauptstadt Märib, Bonn 1989.
- WISSMANN, H. v., Die Mauer der Sabäerhauptstadt Maryab, Leiden 1976, (= Uitgaven van het Nederlands Historisch-Archaeologisch Instituut te Istanbul XXXVIII).
- WISSMANN, H. v., Das Großreich der Sabäer bis zu seinem Ende im frühen 4. Jh. v. Chr., Wien 1982, hrsg. v. W. W. Müller.
- WISSMANN, H. v. – HÖFNER, M., Beiträge zur historischen Geographie des vorislamischen Südarabien, Wiesbaden 1952.
- WITTFOGEL, K. A., Die orientalische Despotie, Köln-Berlin 1962.
- WITTFOGEL, K., The Hydraulic Civilizations, in: W. L. Jr. Thomas (Hrsg.), Man's Role in Changing the Face of the Earth, Chicago 1956, 152-164.
- WRIGHT, G. R. H., Masonry Construction at Märib and the „Interwoven Structure“ (Emplecton) of Vitruvius, in: ABADY IV (1988), 79-96.
- WRIGHT, G. R. H., Some Preliminary Observations on the Masonry Work at Märib, in: ABADY IV (1988), 63-79.

Verzeichnis der Tafeln

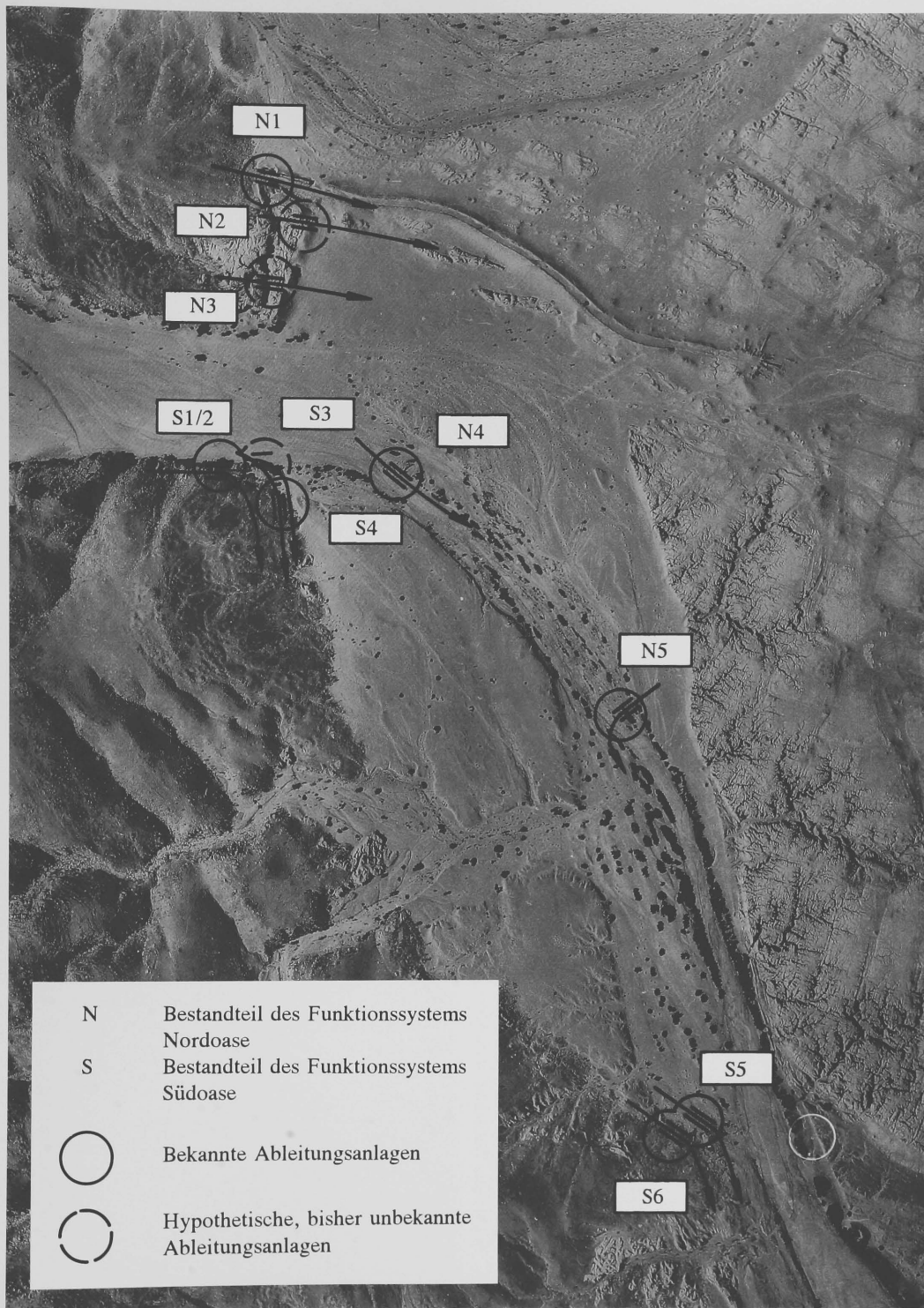
Tafel 1	Lage der Bauwerke am Wādī Dana
Tafel 2a	Beschädigter Teil des Nordbaus N1 mit Blick auf kammerartige Innenstruktur
Tafel 2b	Beschädigter Mauerbereich (Nordbau N1): links bei doppelschaliger Wand Blick auf die Innenschale, rechts bei einfacher Außenwand Blick auf den Mauer Kern
Tafel 2c	Mauerpartie der Anlage al-Mabnā (ehemaliger Auslaß): Die oberste Schicht stellt eine Erhöhung dar, vermutlich ist auch der mittlere Teil erst nach den Mauern rechts und links errichtet worden
Tafel 2d	Detail mit verschiedenen Mauererhöhungen (Nordbau N1): Der lose geschüttete Mauer kern und die unterschiedlichen Putzqualitäten sind gut erkennbar
Tafel 3a	Ansicht Nordbau N1 von Südwesten
Tafel 3b	Nordbau N1: Oberseite der Abschlußmauer AN 1 von Osten mit Erhöhung (links) und vorgeblendeter Verstärkung (rechts)
Tafel 3c	Nordbau N1: Detail der Abschlußmauer AN 1 – Sekundär ergänztes Mauerende (Ansicht von Norden)
Tafel 3d	Nordbau N1: Auslässe mit Bauteilen „B“/„C“, „E“ und „F“ sowie Linie E (Ansicht von Westen)
Tafel 4a	Nordbau N1: Auslaß AN2/1 mit den Bauteilen „B“/„C“ (mit Inschrift) und „E“
Tafel 4b	Nordbau N1: Tosbecken von Osten
Tafel 4c	Ansicht der Bauanlage S1 von Norden
Tafel 4d	Südbau S1/2: Durchlaßbereich AS1 mit Überfallschwelle (Ansicht von Südwesten)
Tafel 5a	Südbau S1/2: Anschlußbauwerk AS2 mit Teilungsbauwerk AS5 (im Vordergrund) (Ansicht von Osten)
Tafel 5b	Südbau S1/2: Blick aus dem Tosbecken nach Osten auf Teilungsbauwerk und Abflußbe reiche
Tafel 5c	Reste der Sohle des Hauptkanals zur Südoase nach AS3 von Südwesten
Tafel 5d	Dammrest am nördlichen Wadiufer mit aufgelagerten Stauraumsedimenten (Blick von Süden)
Tafel 6	Rekonstruktion des Absperrdammes
Tafel 7a	Stückungsrest am Südbau S1/2
Tafel 7b	Sedimentreste zwischen Nordbau und Hauptverteiler – Luftbild
Tafel 7c	N4 (Bau A): Nördlicher Pfeiler (Ansicht von Nordwesten) mit Pfahlquaderreihe (Hinter grund)
Tafel 7d	N4 (Bau A): Überreste der Schwergewichtsmauer mit Kalksteinverblendung (Ansicht von Norden)
Tafel 8	Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage N4

- Tafel 9a Freigelegter Pfeiler 4 der Anlage N4/1 (Ansicht von Westen)
 Tafel 9b Bauwerk N5 (Bau C) (Ansicht von Westen)
 Tafel 9c Felsabarbeitungen bei S3
 Tafel 9d Detail von S6 – Grundriß eines Pfeilers
 Tafel 10 Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage S6
 Tafel 11 Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage S5
 Tafel 12a Sohlschwelle der Bauanlage S5 (Ansicht von Osten)
 Tafel 12b al-Mabnā: Blick von Mauer (A) auf (A') (nach Nordwesten)
 Tafel 12c al-Mabnā: Auslaß (A1) und Mauer (A) von Osten
 Tafel 12d al-Mabnā: Blick auf Becken I (Blick von Nordwesten)
 Tafel 13 Anlage al-Mabnā im Wādī Ġufaina – Luftbild
 Tafel 14a al-Mabnā: Ehemaliger Auslaß (A3), Detailansicht von Südosten
 Tafel 14b al-Mabnā: Blick auf (A1) von Norden
 Tafel 14c al-Mabnā: Fundamentreste nördlich von (A1)
 Tafel 14d al-Mabnā: Becken III von Osten
 Tafel 15a al-Mabnā: Auslaß (A4) von Südwesten
 Tafel 15b Außenansicht der Hauptverteileranlage von Südosten
 Tafel 15c Blick gegen die Auslässe F, G, H der Hauptverteileranlage
 Tafel 15d Beckenseitige Front zwischen den Auslässen F und G der Hauptverteileranlage
 Tafel 16a Schwelle in Auslaß F der Hauptverteileranlage
 Tafel 16b Durchlaß mit Schalenmauerwerk
 Tafel 16c Durchlaß (Schalenmauerwerk) mit Flügelmauern (Schüttmauern)
 Tafel 16d Durchlaß in Schüttbauweise (mit eingebundener Schwelle)
 Tafel 17a Putzmaterial und Schwelleneinbindung
 Tafel 17b Erhöhter Durchlaß (*=ältere Schwelle, **=jüngere Schwelle)
 Tafel 17c Kaskadenbauwerk (Außenansicht)
 Tafel 17d Bauwerksgruppe
 Tafel 18a Reste einer Mauer zur Reduzierung der Erosion auf der Oasenoberfläche
 Tafel 18b Absperrbauwerk in Erosionsrinne
 Tafel 18c Ältestes bekanntes Durchlaßbauwerk
 Tafel 18d Blick von den höhergelegenen Bewässerungsflächen des Hauptverteilersystems auf die Sedimente des Ġufaina-Systems; im Vordergrund ein Durchlaß im Verlauf des Hauptkanals KG1
 Tafel 19a Teilansicht der Bauanlage im Ġufaina-System (von Osten)
 Tafel 19b Detail des Putzmaterials der Bauanlage im Ġufaina-System
 Tafel 19c Durchlässe in einem Teilbereich mit geringer Erosionsrate (Südoase)
 Tafel 19d Von der Erosion freigelegter Durchlaß (Konglomeratgestein, Nutzung in Kalksteinbal-ken) (Südoase)

Abbildungsnachweis

- Abb. 1 nach: v. Wissmann, Großreich, Abb. 1
Abb. 4 nach: Marcolongo – Palmieri, Environmental Modification, Fig. 29
Abb. 8 nach Unterlagen des DAI
Abb. 9 Unterlagen des DAI
Abb. 18 nach Unterlagen des DAI
Abb. 22 nach Unterlagen des DAI
Abb. 30 nach: Schmidt, Baugeschichtliche Untersuchungen, Tafel 130
Abb. 35 nach: Schmidt, Bauanlagen, Tafel 139, und Unterlagen des DAI
Abb. 38 nach: Schmidt, Bauanlagen, Tafel 140
Abb. 39 nach Unterlagen des DAI
Abb. 40 nach Unterlagen des DAI
Abb. 42 nach: Herberg, Baukomplex B, Abb. 14
Abb. 54 nach: Betzler, Umbruch, Abb. 12
Abb. 63 (a) nach: Schoch, Wasserbauten, Abb. 3

Tafeln 1–19

Lage der Bauwerke am Wādi Dana.



a. Beschädigter Teil des Nordbaus N1 mit Blick auf kammerartige Innenstruktur.



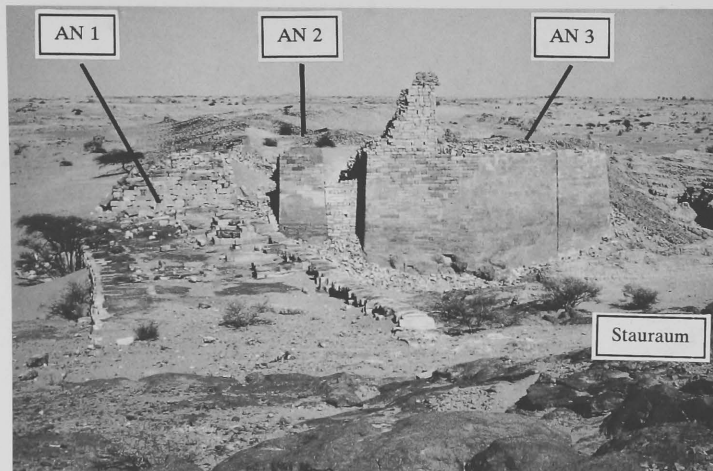
b. Beschädigter Mauerbereich (Nordbau N1): links bei doppelschaliger Wand Blick auf die Innenschale, rechts bei einfacher Außenwand Blick auf den Mauerkern.



c. Mauerpartie der Anlage al-Mabnā (ehemaliger Auslaß): Die oberste Schicht stellt eine Erhöhung dar, vermutlich ist auch der mittlere Teil erst nach den Mauern rechts und links errichtet worden.



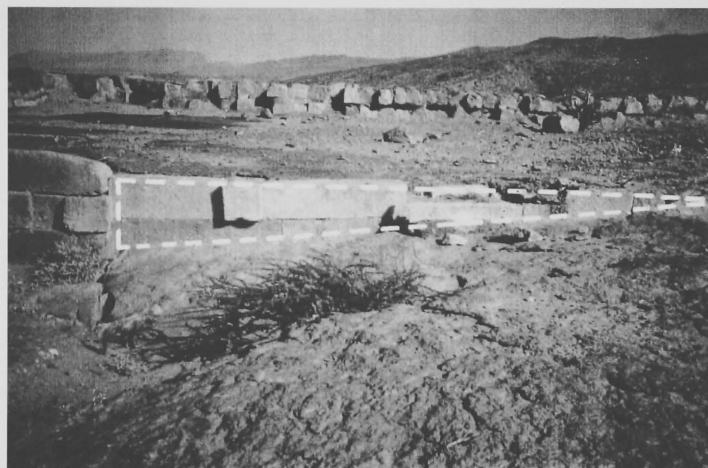
d. Detail mit verschiedenen Mauererhöhungen (Nordbau N1): Der lose geschüttete Mauerkern und die unterschiedlichen Putzqualitäten sind gut erkennbar.



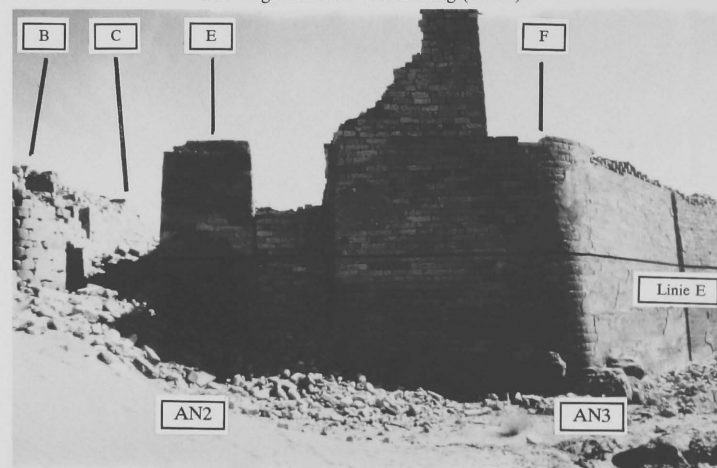
a. Ansicht Nordbau N1 von Südwesten.



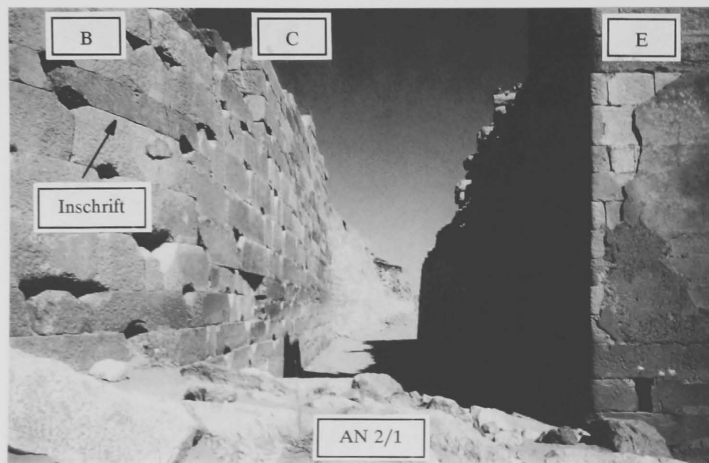
b. Nordbau N1: Oberseite der Abschlußmauer AN 1 von Osten mit Erhöhung (links) und vorgeblendeter Verstärkung (rechts).



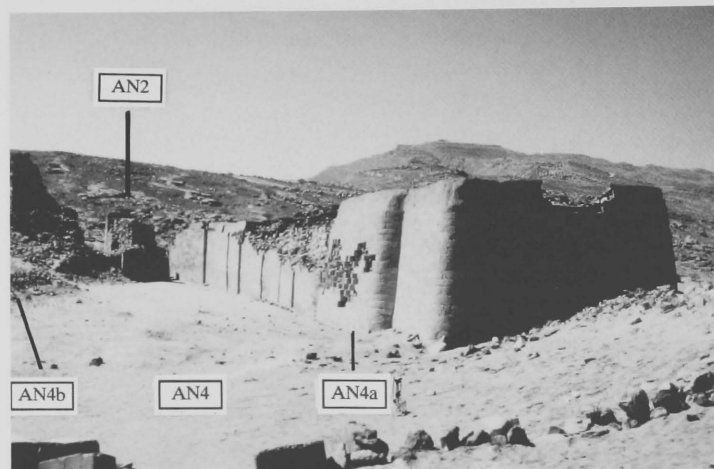
c. Nordbau N1: Detail der Abschlußmauer AN 1 – Sekundär ergänztes Mauerende (Ansicht von Norden).



d. Nordbau N1: Auslässe mit Bauteilen „B“/„C“, „E“ und „F“ sowie Linie E (Ansicht von Westen).



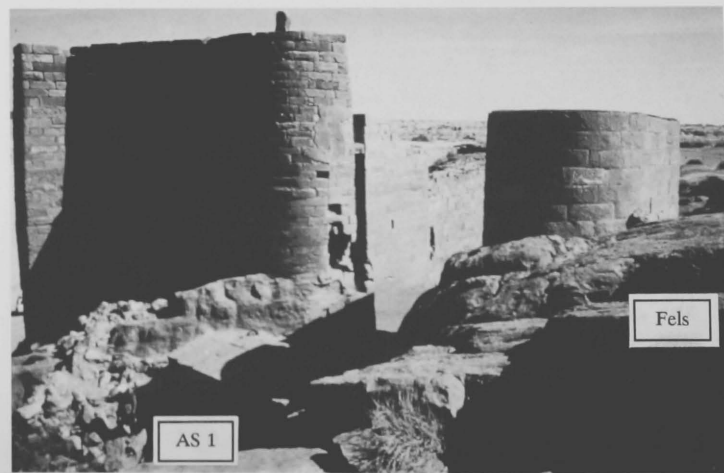
a. Nordbau N1: Auslaß AN2/1 mit den Bauteilen „B“/„C“ (mit Inchrift) und „E“.



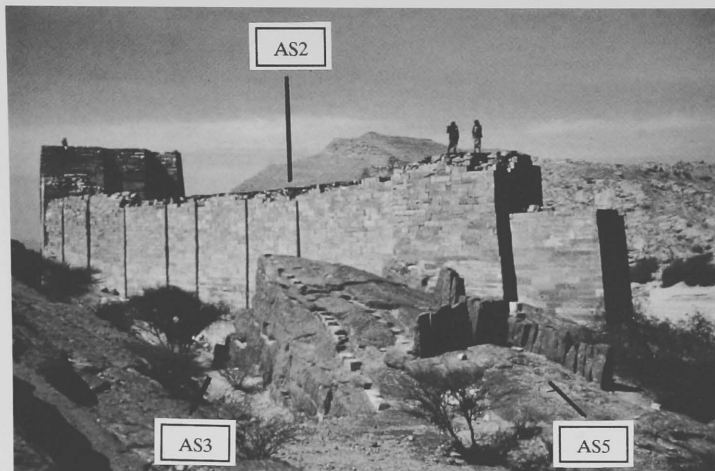
b. Nordbau N1: Tosbecken von Osten.



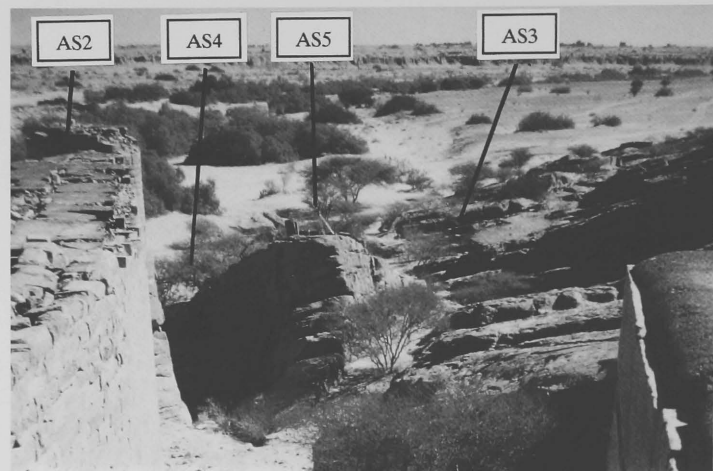
c. Ansicht der Bauanlage S1 von Norden.



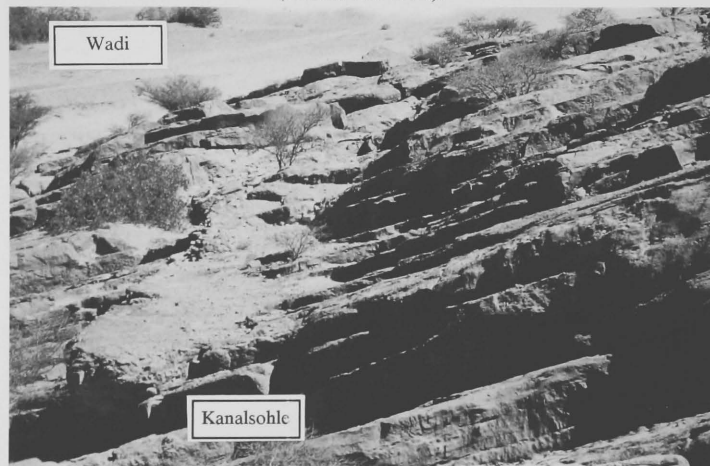
d. Südbau S1/2: Durchlaßbereich AS1 mit Überfallschwelle (Ansicht von Südwesten).



a. Südbau S1/2: Anschlußbauwerk AS2 mit Teilungsbauwerk AS5 (im Vordergrund) (Ansicht von Osten).



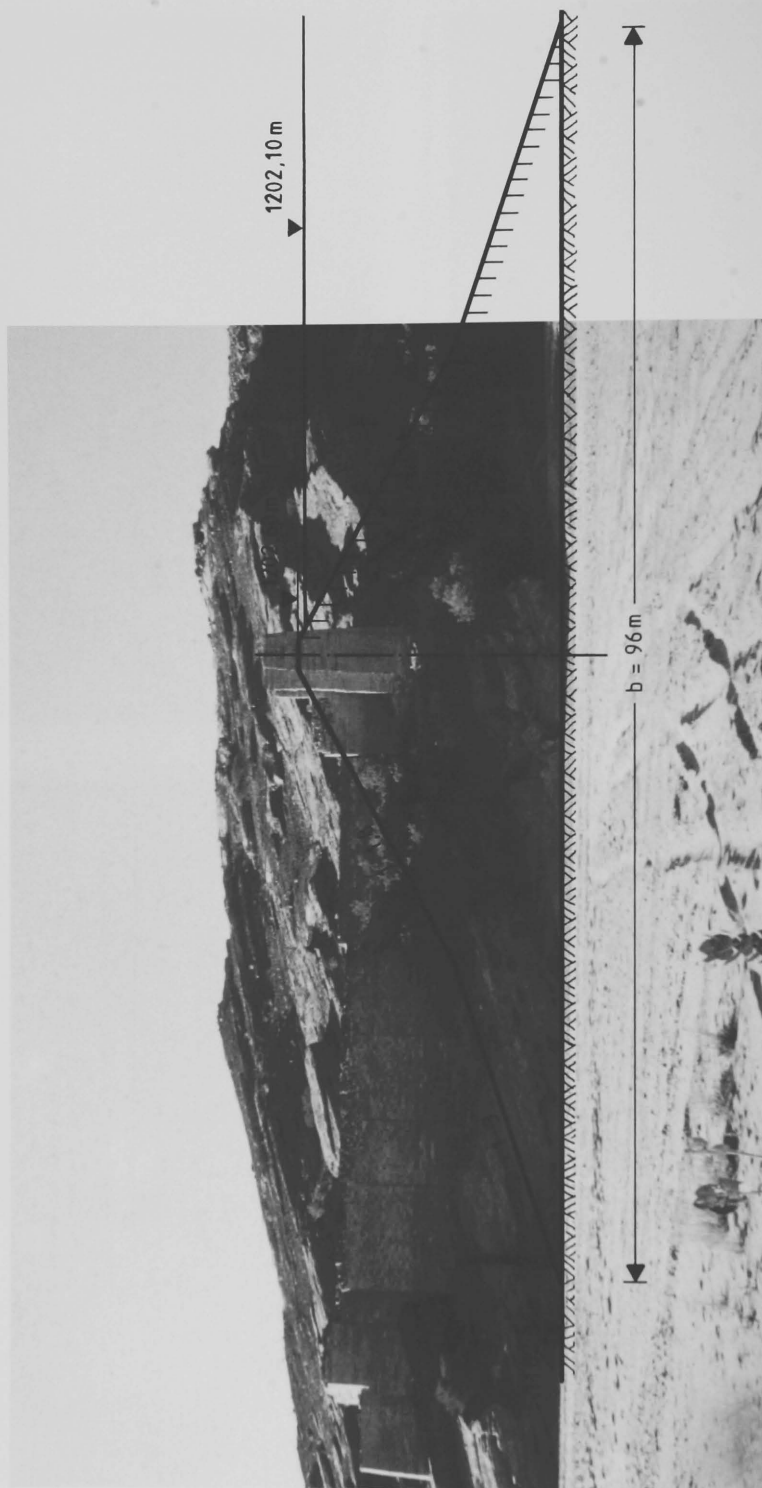
b. Südbau S1/2: Blick aus dem Tosbecken nach Osten auf Teilungsbauwerk und Abflußbereiche.



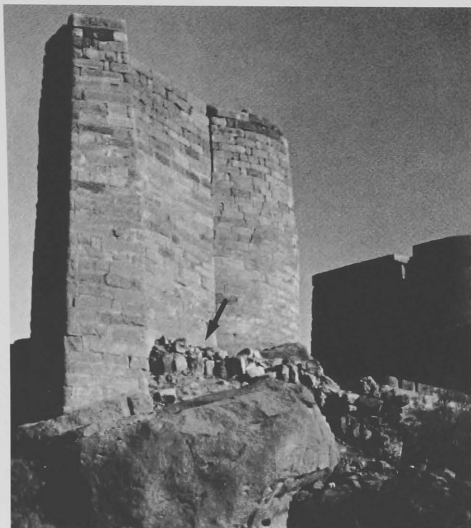
c. Reste der Sohle des Hauptkanals zur Südoase nach AS3 von Südwesten.



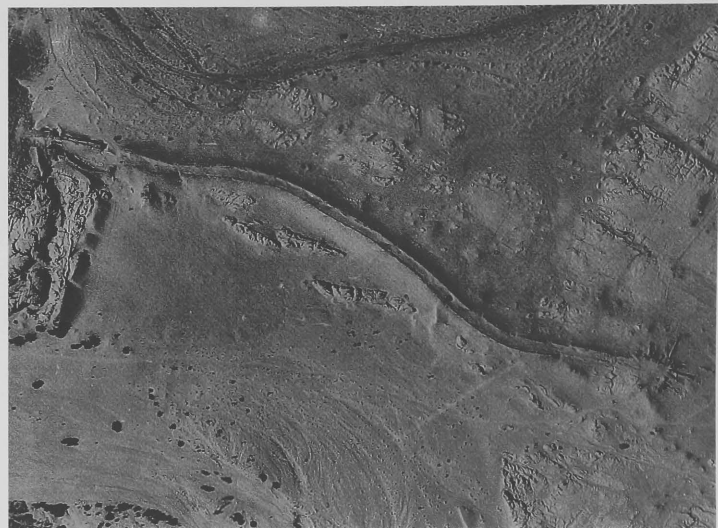
d. Dammrest am nördlichen Wadiufer mit aufgelagerten Stauraumsedimenten (Blick von Süden).



Rekonstruktion des Absperddammes.



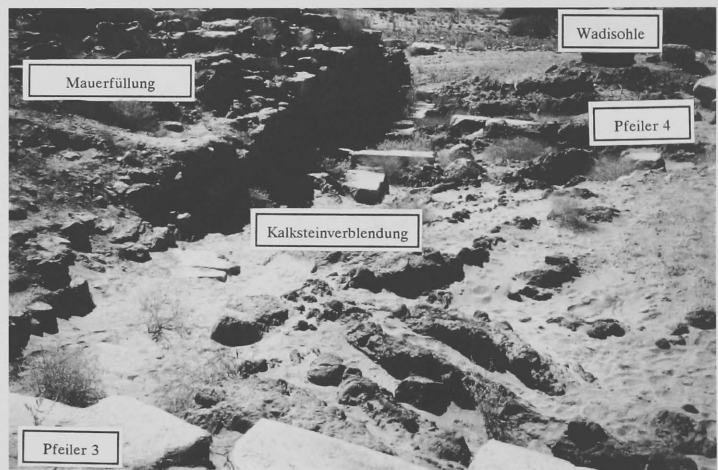
a. Stückerest am Südbau S1/2.



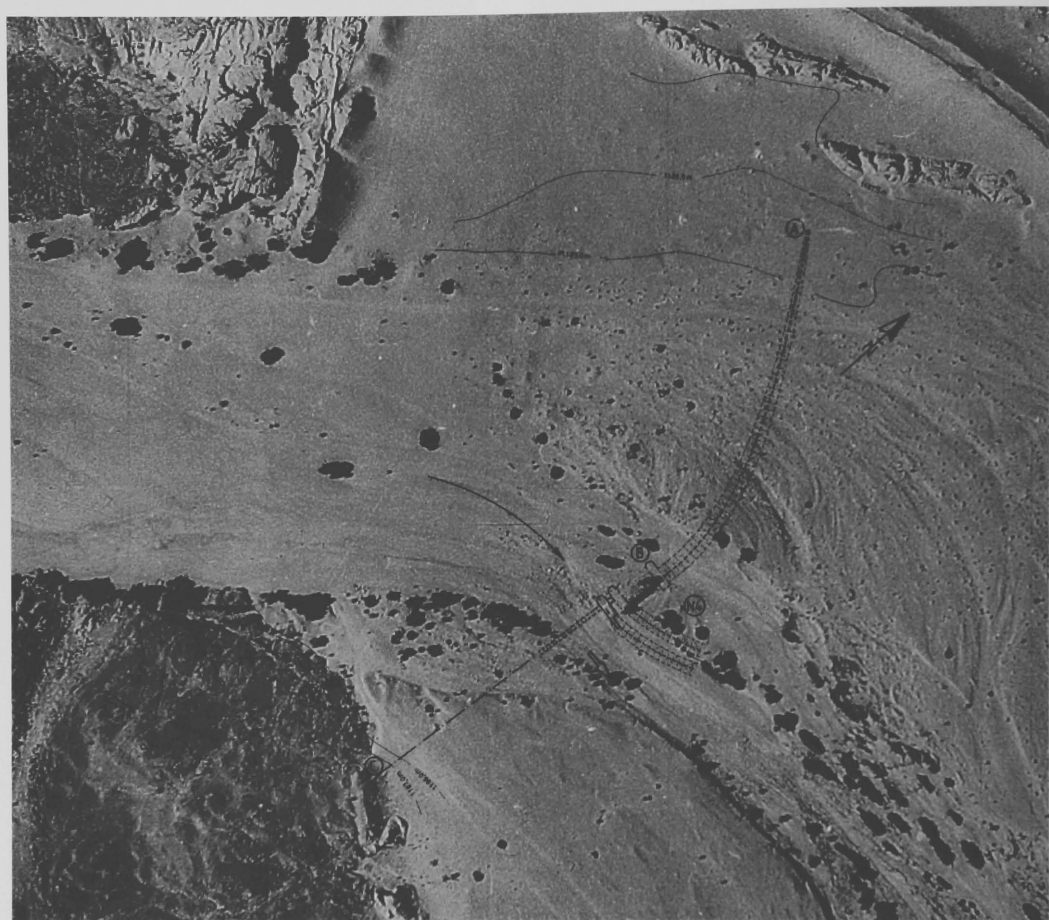
b. Sedimentreste zwischen Nordbau und Hauptverteiler – Luftbild.



c. N4 (Bau A): Nördlicher Pfeiler (Ansicht von Nordwesten) mit Pfahlquaderreihe (Hintergrund).

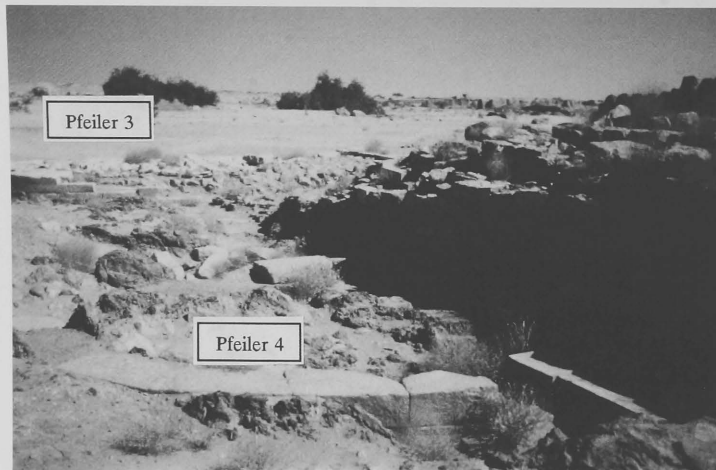


d. N4 (Bau A): Überreste der Schwergewichtsmauer mit Kalksteinverblendung (Ansicht von Norden).



↗ Antiker Stromstrich
↕ Hochwasserentlastung

Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage N4.



a. Freigelegter Pfeiler 4 der Anlage N4/1 (Ansicht von Westen).



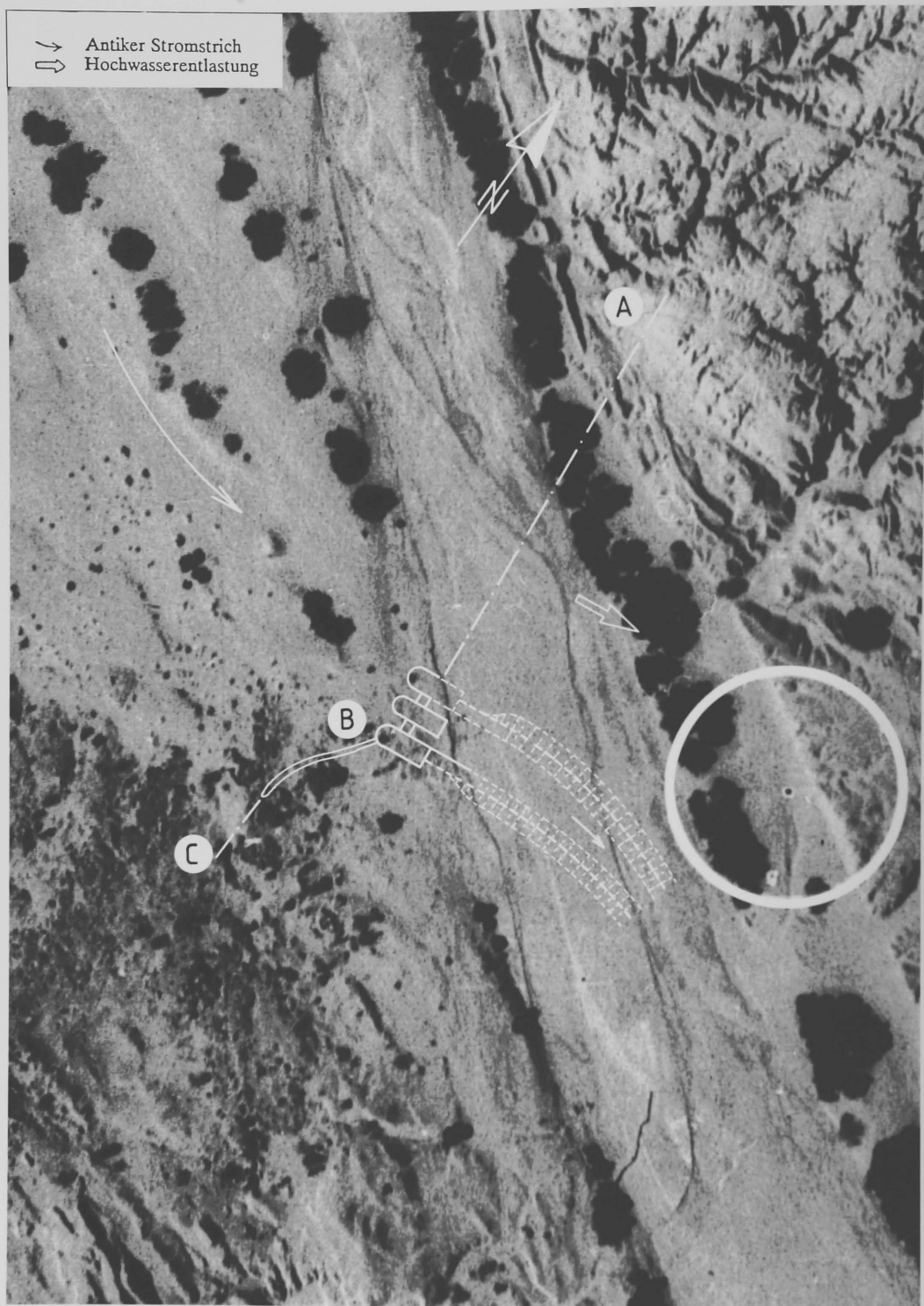
b. Bauwerk N5 (Bau C) (Ansicht von Westen).



c. Felsarbeiten bei S3.



d. Detail von S6 – Grundriß eines Pfeilers.



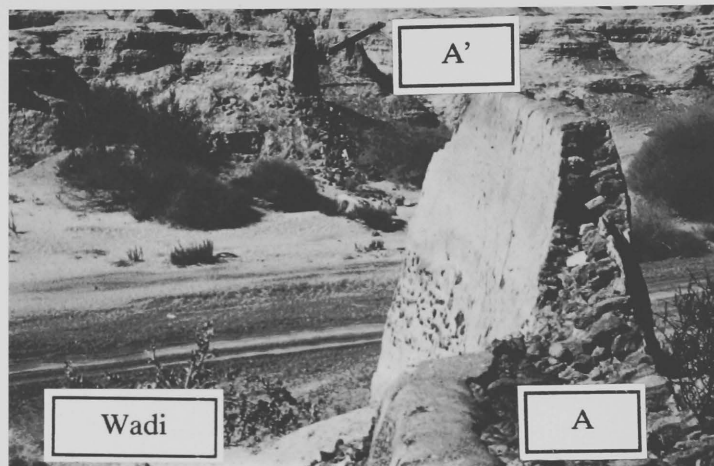
Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage S6.



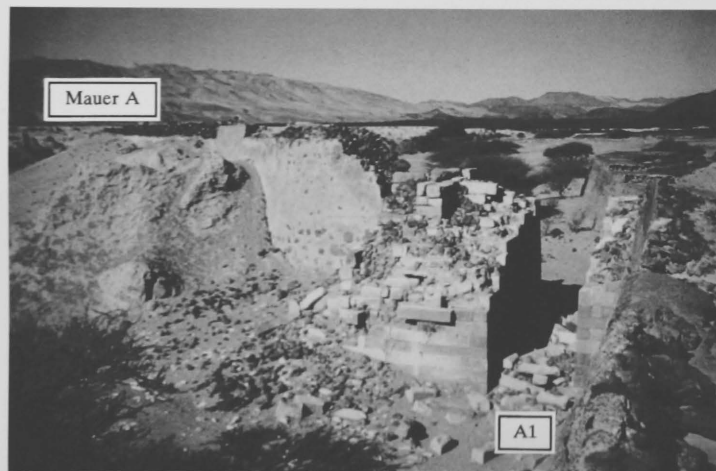
Rekonstruierter Grundriß der Bauanlage S5.



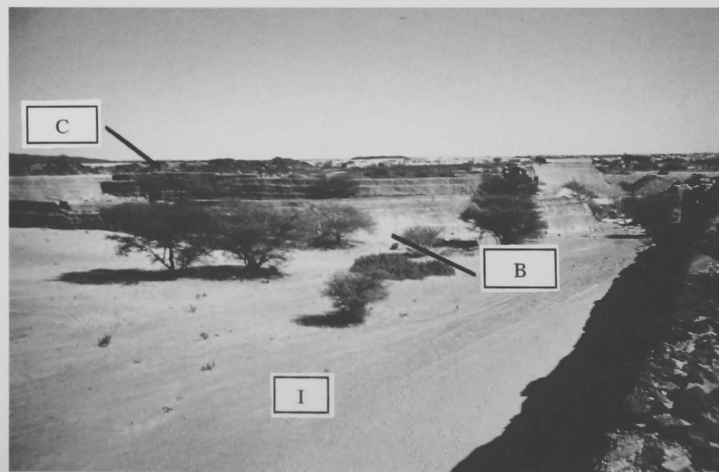
a. Sohlschwelle der Bauanlage S5 (Ansicht von Osten).



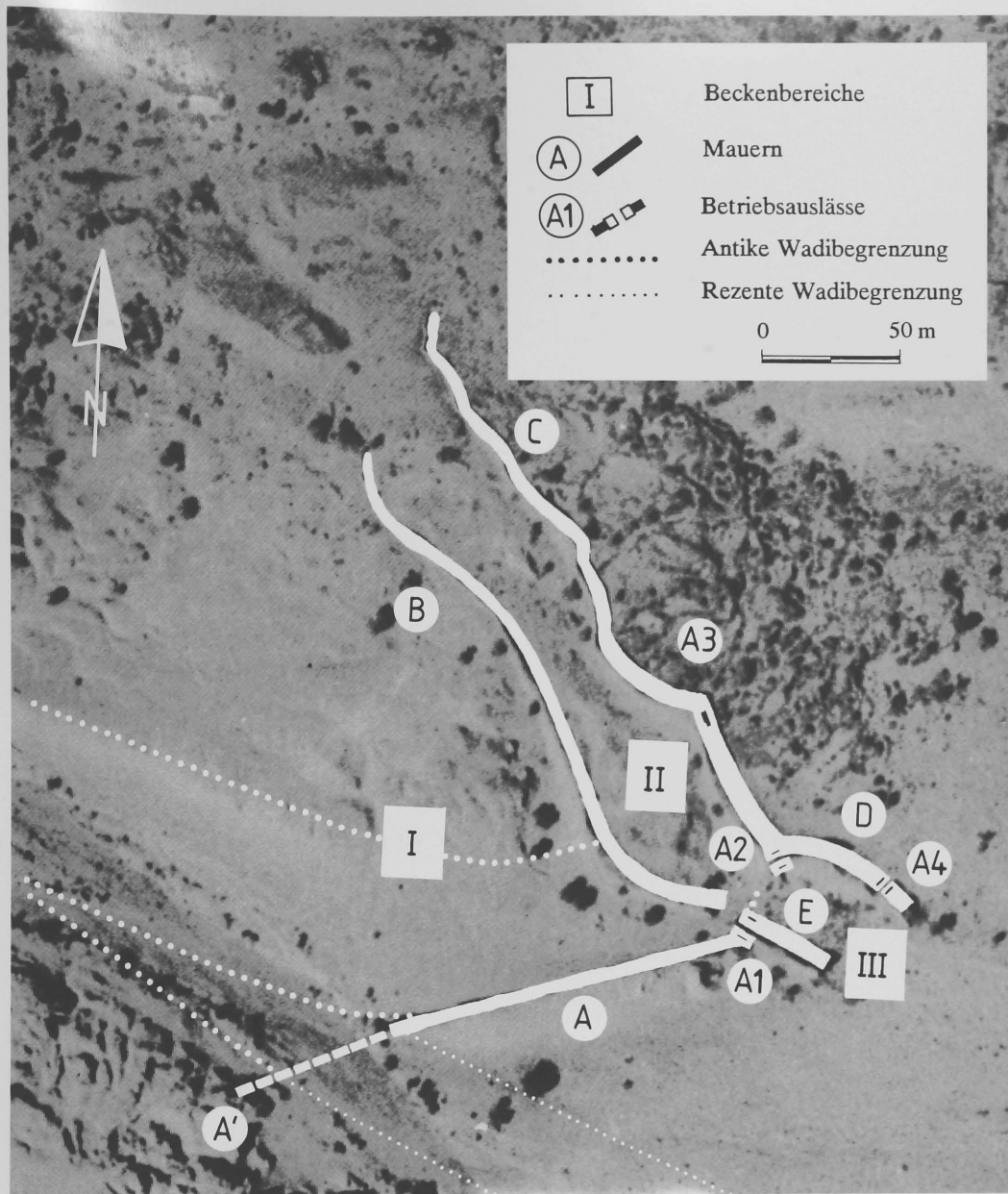
b. al-Mabnā: Blick von Mauer (A) auf (A') (nach Nordwesten).



c. al-Mabnā: Auslaß (A1) und Mauer (A) von Osten.



d. al-Mabnā: Blick auf Becken I (Blick von Nordwesten).



Anlage al-Mabnā im Wādī Ġufaina – Luftbild.



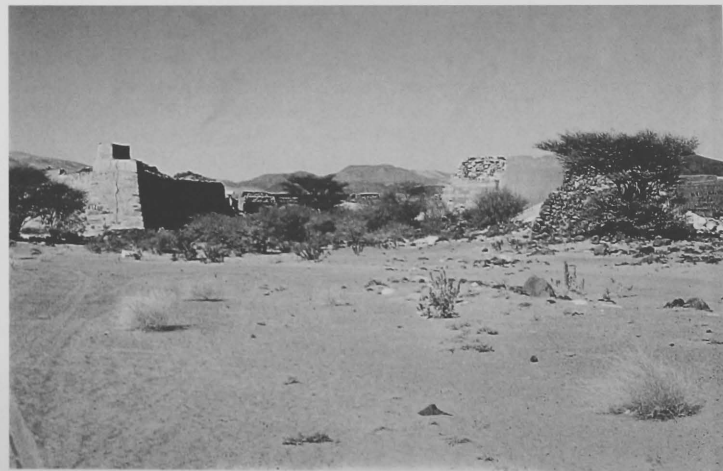
a. al-Mabnā: Ehemaliger Auslaß (A3), Detailansicht von Südosten.



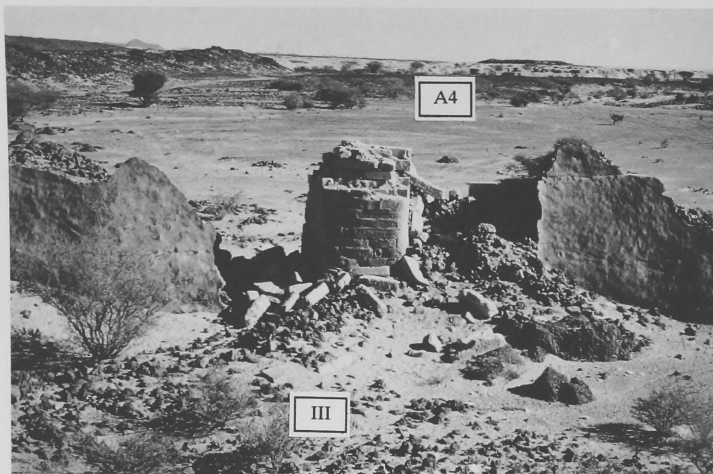
b. al-Mabnā: Blick auf (A1) von Norden.



c. al-Mabnā: Fundamentreste nördlich von (A1).



d. al-Mabnā: Becken III von Osten.



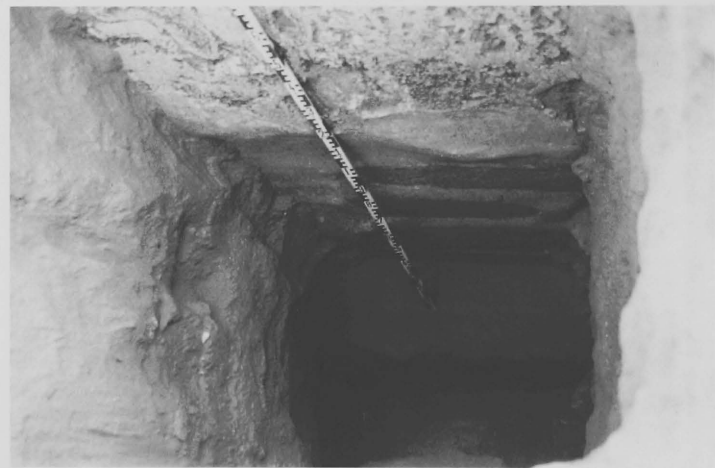
a. al-Mabnā: Auslaß (A4) von Südwesten.



b. Außenansicht der Hauptverteileranlage von Südosten.



c. Blick gegen die Auslässe F, G, H der Hauptverteileranlage.



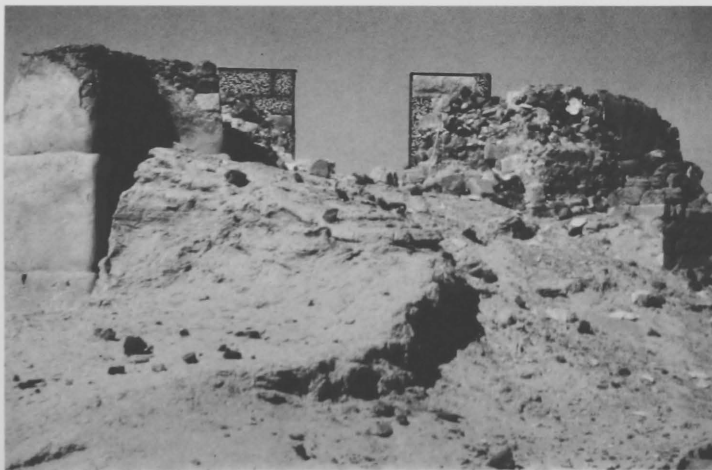
d. Beckenseitige Front zwischen den Auslässen F und G der Hauptverteileranlage.



a. Schwelle in Auslaß F der Hauptverteileranlage.



b. Durchlaß mit Schalenmauerwerk.



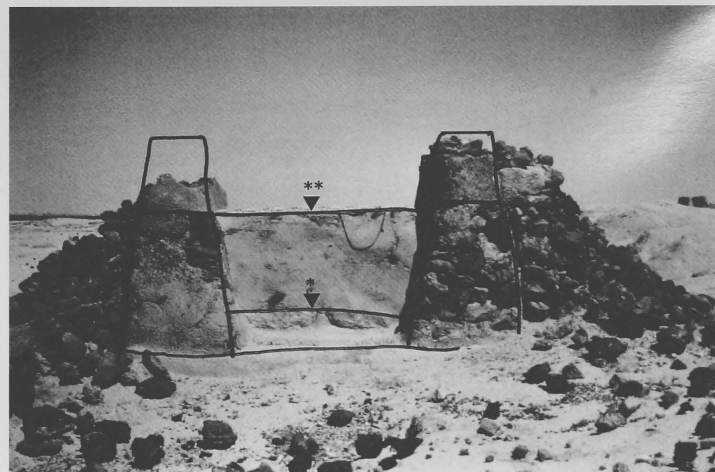
c. Durchlaß (Schalenmauerwerk) mit Flügelmauern (Schüttmauern).



d. Durchlaß in Schüttbauweise (mit eingebundener Schwelle).



a. Putzmaterial und Schwelleneinbindung.



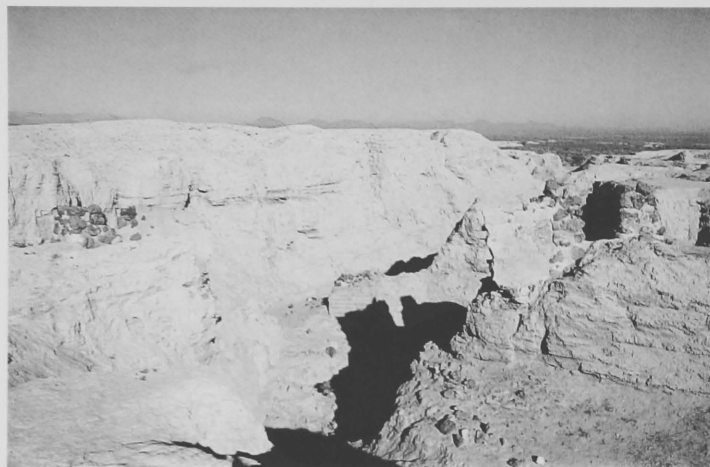
b. Erhöhter Durchlaß (*=ältere Schwelle, **=jüngere Schwelle).



c. Kaskadenbauwerk (Außenansicht).



d. Bauwerksgruppe.



a. Reste einer Mauer zur Reduzierung der Erosion auf der Oasenoberfläche.



b. Absperrbauwerk in Erosionsrinne.



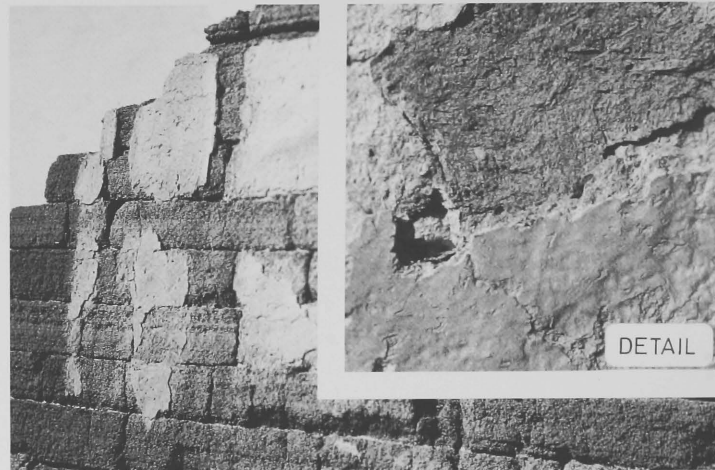
c. Ältestes bekanntes Durchlaßbauwerk.



d. Blick von den höhergelegenen Bewässerungsflächen des Hauptverteilersystems auf die Sedimente des Gufaina-Systems; im Vordergrund ein Durchlaß im Verlauf des Hauptkanals KG1.



a. Teilansicht der Bauanlage im Ġufaina-System (von Osten).



b. Detail des Putzmaterials der Bauanlage im Ġufaina-System.



c. Durchlässe in einem Teilbereich mit geringer Erosionsrate (Südoase).



d. Von der Erosion freigelegter Durchlaß (Konglomeratgestein, Nutzung in Kalksteinbal-
ken) (Südoase).



KANALNETZ IM HAUPTVERTEILERSYSTEM
DER NORDOASE

